



## **Estudo da isomerização do lúpulo**

**SARA ALEXANDRA COSTA BARREIRO**

Novembro de 2016

*Departamento de Engenharia Química*

*Mestrado em Engenharia Química – Otimização Energética na  
Indústria Química*

## **Estudo da isomerização do lúpulo**



Sara Alexandra Costa Barreiro

Novembro de 2016

Orientadora no ISEP: Doutora Paula Cristina Silva

Orientadora na Unicer: Engenheira Dulce Barata Feio



## Agradecimentos

Este trabalho representa o culminar de um esforço que não teria sido possível sem a ajuda importante de algumas pessoas, que merecem o meu sincero agradecimento.

À Doutora Paula Cristina Silva um agradecimento especial pelo apoio e orientação desde a fase inicial do projeto, pela disponibilidade sempre demonstrada e pelas constantes opiniões, críticas e conhecimentos transmitidos que contribuíram para o aumento dos meus conhecimentos.

À Engenheira Dulce Barata Feio um sincero agradecimento por ter criado todas as condições para o desenvolvimento deste projeto, por toda a disponibilidade, amabilidade e simpatia demonstradas, e pela partilha de conhecimentos numa área até então desconhecida.

A todos os trabalhadores da Unicer com quem tive o prazer de contactar, pela simpatia e disponibilidade com que me receberam, e pela sempre disponibilidade em ajudar.

Não podia deixar de agradecer pela amizade criada e pelos momentos de convívio a todos os estagiários da Unicer que me acompanharam nesta jornada.

À minha família, em especial a minha mãe, pelo apoio sempre dado desde o início, pelos valores transmitidos ao longo da minha vida.

A todos os meus amigos pelo constante apoio demonstrado, por me ajudarem a descomprimir em momentos de maior tensão.

Um agradecimento especial à Patrícia, à Rita, à Sofia e à Daniela Filipa por sempre me apoiarem, pela disponibilidade demonstrada, pelas críticas e pela paciência ao longo destes meses.



## Sumário

Esta tese de mestrado foi desenvolvida na empresa UNICER, tendo como principal objetivo o estudo da isomerização do lúpulo, com o intuito de maximizar a obtenção de iso- $\alpha$ -ácidos e minimizar a discrepância de valores de amargo entre fabricos de cerveja. Estudou-se a implementação de uma alteração ao processo atual, com o objetivo de aumentar consideravelmente a taxa de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, diminuindo assim a quantidade e custo de extrato de lúpulo a adicionar ao processo. Realizou-se um estudo sobre a influência na cor da cerveja da quantidade dos maltes utilizados para a sua produção e ainda um estudo sobre a propagação de levedura.

A cerveja é uma bebida obtida por fermentação alcoólica de um mosto preparado com malte e cereais não maltados, água e lúpulo. O lúpulo, adicionado na etapa de ebulição, contém  $\alpha$ -ácidos, que após isomerizados dão origem a iso- $\alpha$ -ácidos, que conferem à cerveja o seu sabor amargo. A produção de cerveja compreende várias etapas como a moagem dos cereais, brassagem, filtração, ebulição, decantação, fermentação do mosto e filtração final da cerveja.

O trabalho desenvolvido consistiu inicialmente num levantamento do histórico e caracterização das variáveis (quantidade de lúpulo adicionado e pH) que influenciam o rendimento de isomerização do extrato de lúpulo para a cerveja Super Bock, desde o início do ano de 2015. Foi realizado também um estudo sobre a importância do tipo de extrato de lúpulo adicionado ao processo, substituindo o extrato de lúpulo usualmente adicionado (Magnum-Herkules-Taurus) por uma mistura de extrato de lúpulo contendo 50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget. Efetuaram-se ensaios com vista à verificação da ocorrência de reações de isomerização na etapa de decantação. Foi também estudado um controlo dos Tanques de Cerveja Filtrada com o propósito de averiguar o efeito da diluição da cerveja no valor de amargo final, bem como a importância da adição de tetra (extrato de lúpulo pré-isomerizado com a finalidade de corrigir o valor final de amargo na cerveja). Tendo-se verificado variações significativas na cor de mosto foi realizado um estudo das condições do seu processo de produção, em relação às quantidades e tipo de malte usados. Por fim, efetuou-se o acompanhamento da propagação de levedura referente à cerveja Carlsberg, de forma a verificar o seu crescimento.

Estudou-se a implementação de uma alteração ao processo atual, com o objetivo de aumentar o rendimento de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, diminuindo assim os custos e

quantidade de extrato de lúpulo a adicionar ao processo, à custa de uma pré-isomerização do mesmo. Esta alteração consiste na pré-isomerização do extrato de lúpulo num reator onde é introduzido o extrato de lúpulo juntamente com um catalisador heterogéneo, ocorrendo assim a reação de isomerização. De seguida a mistura é encaminhada para uma centrífuga procedendo-se à sua separação, sendo no final o catalisador lavado e reaproveitado. A reação de isomerização é realizada durante 18 horas a 90 °C.

Através da caracterização do pH e amargo da cerveja Super Bock, desde o ano 2015, verificou-se que é difícil o controlo do rendimento de isomerização através do pH, não se detetando uma relação evidente entre estas duas variáveis, com a consequente oscilação de resultados obtidos. A utilização da mistura dos dois tipos de extratos de lúpulo não alterou de forma significativa os resultados obtidos quando se utiliza apenas o extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus. Verifica-se, no entanto, que os rendimentos de isomerização obtidos com a mistura de extratos de lúpulo são ligeiramente inferiores. Verificou-se um aumento do valor de amargo no mosto, entre a etapa de ebulição e de decantação, sendo o esperado, pois as elevadas temperaturas que ainda se verificam na decantação levam à continuidade das reações de isomerização. Relativamente à adição de tetra após a filtração da cerveja, constatou-se que a quantidade a adicionar se situa entre 0,9kg e 4,5kg. Foi possível determinar que a cor do mosto é fortemente influenciada pela cor e quantidade dos maltes utilizados. É recomendada uma verificação prévia da cor do malte de chocolate, pois mesmo sendo adicionado em quantidade inferior ao malte *pilsen* (cerca de 0,5%) apresenta grande influência na cor final do mosto. Por fim, no ensaio de propagação de levedura verificou-se que em ambas as fases do processo ocorreu um crescimento gradual de levedura, sendo que inicialmente a taxa de crescimento foi bastante mais elevada relativamente à fase final devido à redução de metabolismo da levedura.

Após a análise do método de pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos verificou-se que este é bastante mais económico relativamente à isomerização dos  $\alpha$ -ácidos atual. É possível reduzir anualmente os custos atuais em cerca de 46%. Contabilizando o investimento inicial não se verifica grande discrepância, obtendo-se um valor de 44%.

No entanto, apesar de ser um método bastante vantajoso a nível económico, é necessário garantir que esta alteração não afeta a qualidade e as características da cerveja.

**Palavras chave:** Isomerização, lúpulo,  $\alpha$ -ácidos, amargo, pré-isomerização

## Abstract

This master thesis was developed in UNICER, having as main objective the study of hop isomerization, in order to maximize the quantity of iso- $\alpha$ -acids and minimize the discrepancy of bitterness values between beer batches. The implementation of a change in the production process was studied in order to increase the rate of isomerization of  $\alpha$ -acids, therefore reducing the quantity and cost of hop extract added to the process. A study of the influence of type and amount of malt in beer colour was performed. A study on yeast propagation was also conducted.

Beer is a beverage obtained by alcoholic fermentation of a wort prepared with malt, unmalted cereals, water and hops. The hops extract added to the wort at the boiling step, contains  $\alpha$ -acids, that after isomerization, produce iso-  $\alpha$ -acids which gives the beer its bitter flavour. The production of beer comprises several steps such as grinding cereals, mashing, filtration, boiling, decanting, fermentation of the wort and final filtration of the beer.

At first, it was necessary to compile and analyse the data for the variables (bitter and pH) that influence hop extract isomerization yield, for Super Bock beer produced from the beginning of 2015. A study on the importance of type of hop extract added to the process, replacing hop extract usually added (Magnum-Herkules-Taurus) by a mixture of 50% of Magnum-Herkules-Taurus type and 50% of the Nugget type, was conducted. Testes was performed in order to verify the occurrence of isomerization reactions in the decanting step. To evaluate the effect of beer dilution on the final bitterness value, as well as the importance of tetra (pre-isomerized hop extract used to correct the bitterness in the final beer) addition, a control of parameters in the Filtered Beer Tanks was performed. In order to understand the significant changes in wort colour detected in the process, the conditions (quantity and type) of the malt used were studied. Finally, in order to verify the growth of the yeast used in Carlsberg beer production, a propagation study of these yeasts was performed.

With the purpose of increasing  $\alpha$ -acids isomerization yield, thereby reducing the cost of hop extract added, a change in the process was suggested and studied. The change consists in a pre-isomerization of the hop extract, using a solid catalyst, in a stirred reactor. Then the mixture is send to a centrifuge and separated, and at the end of the process the catalyst is washed and reused. The isomerization reaction is performed for 18 hours at 90 ° C.



The analysis of pH and bitterness of Super Bock beer since 2015 showed that it is difficult to control the isomerization yield through pH. It was not possible to detect a relationship between these two variables, and therefore the results show unexpected oscillations. The use of the mixture of hop extracts does not significantly alter the results obtained when using Magnum-Herkules-Taurus extract. However, isomerization yields obtained with the mixture of extracts are slightly inferior. Between boiling and decanting steps, the bitterness of wort increased as expected, because, due to the high temperatures on the decantation step, the isomerization reactions continue to occur. Regarding the addition of tetra in beer after filtration, it was found that the amount to be added lies between 0,9kg and 4,5kg. It was possible to determine that wort colour is strongly influenced by the color and the quantity of malts used. A prior verification of chocolate malt colour is recommended because, although this malt is added in very small amounts (about 0,5% compared to *pilsen* malt) it has a great influence on the final colour of the wort. Yeast propagation test showed that in both stages of the process there was a gradual growth of yeast, the initially growth rate was considerably faster than on the final stage due to the reduction on yeast metabolism.

The economic analysis of the process of pre-isomerization of  $\alpha$ -acids showed that this is more favorable than the current  $\alpha$ -acids isomerization. Operating costs can be reduced by about 46%. Taking into account the initial investment needed, this value decreases to 44%.

However, despite this economic advantages, it is necessary to ensure that this process change does not affect the quality and the remaining beer characteristics.

**Key words:** Isomerization, hop,  $\alpha$ -acids, bitterness, pre-isomerization

# Índice

Agradecimentos .....	iii
Sumário .....	v
Abstract .....	vii
Nomenclatura .....	xv
1. Introdução .....	1
1.1 A empresa.....	1
1.2 Objetivo .....	1
1.3 Enquadramento .....	2
1.4 Descrição dos capítulos.....	2
2. Estado da Arte.....	5
2.1 Produção de cerveja .....	5
2.1.1 Matérias-primas.....	5
2.1.2 Fase de fabrico do mosto .....	6
2.1.3 Fase da adega .....	8
2.2 Lúpulo.....	9
2.2.1 Composição do lúpulo .....	10
2.2.2 $\alpha$ -ácidos .....	10
2.3 Isomerização de $\alpha$ -ácidos.....	11
2.3.1 Natureza dos iso- $\alpha$ -ácidos.....	12
2.3.2 Duração da etapa de ebulição .....	14
2.3.3 Influência do pH.....	14
2.4 Lúpulo Pré-isomerizado.....	16
2.5 Pré- Isomerização dos $\alpha$ -ácidos ou isomerização offline .....	17
2.6 Cor.....	19
3. Análise de resultados .....	21
3.1 Estudo da isomerização dos $\alpha$ -ácidos .....	21
3.1.1 Análise dos valores de amargo no fabrico .....	21
3.1.2 Efeito do tipo de extrato de lúpulo .....	26
3.1.3 Isomerização de $\alpha$ -ácidos antes e após a decantação .....	29
3.1.4 Correção do valor de amargo.....	30
3.2 Análise da cor do mosto .....	36
3.3 Propagação da levedura.....	38
4. Pré- Isomerização dos $\alpha$ -ácidos.....	41
4.1 Custo atual do lúpulo.....	42
4.2 Quantidade de $\alpha$ -ácidos e catalisador para isomerização offline .....	42

4.3	Produção de catalisador .....	44
4.4	Custo do processo de pré-isomerização .....	46
4.5	Instalação .....	48
5.	Conclusão .....	51
6.	Bibliografia.....	53
Anexo A – Histórico de valores obtidos .....		57
A.1	– Análise dos valores de amargo no fabrico.....	57
A.2	– Efeito do tipo de extrato de lúpulo.....	66
A.2.1	– Dados relativos à utilização de lúpulo 50% do tipo Nugget e 50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus.....	66
A.2.2	– Fichas de Lúpulo.....	67
A.3	– Isomerização de $\alpha$ -ácidos antes e após a decantação.....	69
A.4	– Correção do valor de amargo .....	70
A.5	– Análise da cor do mosto.....	72
A.6	– Propagação da levedura.....	92
Anexo B – Pré-isomerização dos $\alpha$ -ácidos .....		93
B.1	Custo atual .....	93
B.2	Produção de catalisador .....	94
B.3	Dimensionamento de equipamentos.....	97
B.4	Procedimento de produção de catalisador.....	100

## Índice de figuras

Figura 2 1 - Esquema do processo de fabrico do mosto.	6
Figura 2 2 - Representação do processo de produção de cerveja, na fase da adega.	8
Figura 2 3 – Estrutura de uma molécula de $\alpha$ -ácidos. [5]	11
Figura 2 4 - Representação das moléculas isomerizadas de $\alpha$ -ácidos. [5]	12
Figura 2 5 - Lúpulo em cone. [2]	13
Figura 2 6 - Representação das cadeias dos diferentes tipos de $\alpha$ -ácidos. [5]	13
Figura 2 7 - Reação de isomerização de $\alpha$ -ácidos. [7]	15
Figura 3 1 - Rendimento de isomerização dos $\alpha$ -ácidos.	21
Figura 3 2 - Relação entre o amargo de fabrico e o rendimento de isomerização.	22
Figura 3 3 - Relação entre o amargo nas três etapas do processo de produção de cerveja.	23
Figura 3 4 – Relação entre o amargo de fabrico e o pH de fim de ebulição.	24
Figura 3 5 – Relação entre o amargo e o pH na etapa de maturação.	24
Figura 3 6 – Relação entre o amargo e o pH na etapa de filtração da cerveja.	25
Figura 3 7 – Valores obtidos para o rendimento de isomerização utilizando a mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget) (a) e utilizando extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus (b).	26
Figura 3 8 – Valores obtidos de amargo utilizando a mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget) a) e extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus b).	27
Figura 3 9 – Valores obtidos de pH de fim de ebulição utilizando a mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget) a) e extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus b).	28
Figura 3 10 – Valores obtidos de rendimento de isomerização, percentagem de aumento de amargo e pH de fim de ebulição.	29
Figura 3 11 – Representação da evolução da cor do mosto ao longo do ano de 2016 bem como a alteração dos diferentes lotes de malte.	37
Figura 3 12 – Ciclo de propagação da levedura.	39
Figura 4 1 - Processo de pré-isomerização do lúpulo.	41
Figura 4 2 – Diagrama da instalação para a produção de iso- $\alpha$ -ácidos.	48



## Índice de tabelas

Tabela 2 1 - Valores médios de referência da composição do Lúpulo em percentagem mássica. [3]	10
Tabela 3 1 - Valores obtidos de amargo para cada TCF.	30
Tabela 3 2 - Valores de cor para cada lote de malte <i>pilsen</i> .	37
Tabela 4 1 - Representação das quantidades necessárias de lúpulo e o seu custo, relativas ao ano de 2015.	42
Tabela 4 2 - Quantidade de $\alpha$ -ácidos e catalisador necessários para cada fabrico.	43
Tabela 4 3 - Quantidade de $\alpha$ -ácidos e catalisador necessários para cada batch.	43
Tabela 4 4 - Quantidade de reagentes necessários anualmente.	44
Tabela 4 5 - Quantidade de catalisador por diferente tipo de cerveja	45
Tabela 4 6 - Produção anual de catalisador.	46
Tabela 4 7 - Custo de implementação do processo de pré-isomerização.	46
Tabela A 1 - Valores obtidos das características da Super Bock relativos ao ano 2015 e 2016.	57
Tabela A 2 - Mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget).	66
Tabela A 3 - Valores obtidos de amargo após a ebulição e decantação.	69
Tabela A 4 - Introdução dos parâmetros das cubas a ser filtradas (Adaptado da folha de cálculo utilizada na empresa).	70
Tabela A 5 - Especificação do valor objetivo de cada parâmetro (Adaptado da folha de cálculo utilizada na empresa).	70
Tabela A 6 - Definição do valor de aditivos a adicionar (Adaptado da folha de cálculo utilizada na empresa).	71
Tabela A 7 - Valores relativos à cor do mosto e dos maltes para os fabricos de 2016.	72
Tabela A 8 - Valores obtidos no ensaio de propagação de levedura.	92
Tabela B 1 - Quantidades de $\alpha$ -ácidos e lúpulo adicionadas atualmente.	93
Tabela B 2 - Condições de reação de isomerização.	94
Tabela B 3 - Quantidade necessária anual de catalisador.	94
Tabela B 4 - Quantidade necessária de cada reagente para produção de catalisador.	95
Tabela B 5 - Dimensionamento de equipamentos.	97
Tabela B 6 - Dados relativos ao cálculo da quantidade de vapor alimentada ao reator.	98



## Nomenclatura

$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  – Nitrato de Alumínio nona-hidratado

$Ba(NO_3)_2$  – Nitrato de bário Anidro

$BaAl_2O_4$  – Aluminato de bário

$C_2H_4O$  – Álcool polivinílico

CC – Cilíndrico-cônica

$CO_2$  – Dióxido de carbono

Cp – Capacidade calorífica

EBC – European Brewing Convention

HSA – High surface area

UA – Unidades de amargo

TCF – Tanque de Cerveja Filtrada





# 1. Introdução

## 1.1 A empresa

A origem da Unicer remonta ao início do século XIX. Em 7 de Março de 1890, a CUFP - Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes foi criada a partir da união de sete fábricas, seis no Porto e uma em Ponte da Barca. Estas passariam a abastecer a cidade do Porto de cerveja nacional, substituindo progressivamente a cerveja importada. Inicialmente a CUFP produzia apenas cervejas, gasosas e gelo, em reduzidas quantidades. Na década de 70 do século XX, da união da CUFP com a COPEJA resulta a Unicer. [1]

Atualmente a Unicer é a maior empresa portuguesa de bebidas, representada de norte a sul do país, estando presente no setor das cervejas, das águas engarrafadas, dos refrigerantes, dos vinhos, produção e comercialização de malte e no negócio do turismo. Está dividida por nove centros de produção, localizados em Leça do Balio, Santarém, Pedras Salgadas, Castelo de Vide, Caramulo, Envendos, Melgaço, Póvoa de Lanhoso e Poceirão. [1]

Desde a década de 2000 a Unicer tem aumentado consideravelmente as suas exportações, estando presente em mais de 40 países. [1]

## 1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é o estudo da isomerização do lúpulo. Com isto, pretende-se perceber quais as variáveis que têm um impacto importante na reação de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos na etapa de ebulição, tendo por base a caracterização das mesmas, com o intuito de maximizar a obtenção de iso- $\alpha$ -ácidos e minimizar a discrepância de valores de amargo entre fabricos de cerveja. Pretende-se ainda realizar um estudo da influência na cor da cerveja dos maltes utilizados para a sua produção e ainda um estudo de propagação da levedura. Será também desenvolvido um método com vista a aumentar consideravelmente a taxa de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, diminuindo a quantidade de lúpulo a utilizar.

### 1.3 Enquadramento

O presente trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular de Dissertação / Estágio do mestrado em Otimização Energética na Indústria Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto, e foi efetuado nas instalações da Unicer em Leça do Balio.

A cerveja é uma bebida obtida por fermentação alcoólica de um mosto preparado com malte e cereais não maltados, água e lúpulo. De forma a ser produzida, é necessário um conjunto de etapas: moagem dos cereais, brassagem, filtração e ebulição do mosto com posterior decantação, fermentação, maturação, filtração e enchimento.

Na etapa de ebulição é adicionado extrato de lúpulo, contendo  $\alpha$ -ácidos, que após isomerizados dão origem a iso- $\alpha$ -ácidos, que conferem à cerveja o seu sabor amargo. O lúpulo é uma planta trepadeira da Europa e Ásia Ocidental da espécie *Humulus lupulus*. Sendo esta planta de elevado valor comercial é importante reduzir a perda de iso- $\alpha$ -ácidos na produção de cerveja. Os diferentes tipos de lúpulo (cone, *pellets* e extrato de lúpulo) influenciam a taxa de isomerização, sendo possível corrigir o valor de amargo final na cerveja com a adição de  $\alpha$ -ácidos já isomerizados.

A qualidade do malte utilizado para a elaboração do mosto bem como a sua quantidade apresentam influência nas características finais deste. Para produzir cerveja Super Bock é utilizado malte *pilsen*, sendo adicionado malte de chocolate (apresenta uma cor bastante mais escura que o malte *pilsen*).

As leveduras são microrganismos unicelulares fundamentais ao processo de fabrico de cerveja, sendo as responsáveis pela transformação do mosto em cerveja, num processo denominado fermentação.

### 1.4 Descrição dos capítulos

No capítulo 2, referente ao Estado da Arte, faz-se uma descrição de todo o processo de produção de cerveja, incluindo uma explicação acerca do lúpulo e a sua influência na isomerização dos  $\alpha$ -ácidos. É apresentado um método de pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos que permite aumentar o rendimento de isomerização. Faz-se ainda uma breve descrição sobre o tetra (lúpulo pré-isomerizado) e a cor da cerveja.

No capítulo 3, Análise de Resultados, é apresentada a análise do histórico de resultados de amargo e pH de fim de ebulição para a cerveja Super Bock nos anos de 2015 e 2016, bem como a diferença verificada com a utilização de diferentes tipos de extrato de lúpulo. É também apresentada uma análise aos valores de amargo no fim de ebulição e no fim da decantação, bem como o método de correção do valor de amargo final na cerveja. Por fim é apresentada uma análise à cor do mosto relativa ao ano de 2016, e um ensaio de propagação de levedura.

No capítulo 4, Pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, é apresentada uma alternativa à isomerização atual do lúpulo. Este método permite reduzir os custos deste processo (apresenta rendimento de isomerização superior) aumentando consideravelmente a taxa de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, o que diminui a quantidade de extrato de lúpulo a utilizar.

No capítulo 5, Conclusão, são expostos os resultados obtidos mais pertinentes e são apresentadas as principais conclusões retiradas após a elaboração do trabalho.



## 2. Estado da Arte

### 2.1 Produção de cerveja

A cerveja é uma bebida alcoólica produzida a partir da fermentação de cereais com o auxílio de leveduras. Para a produção de cerveja são necessárias várias etapas, que vão desde a receção de matéria-prima, com posterior produção do mosto, e por fim a fermentação do mesmo.

O lúpulo adicionado na etapa de ebulição do mosto contém os  $\alpha$ -ácidos que são responsáveis pelo sabor amargo da cerveja, após isomerizados. A isomerização dos  $\alpha$ -ácidos é um processo lento e influenciado por vários fatores, como a natureza dos  $\alpha$ -ácidos, o pH do meio e a duração da etapa de ebulição. É possível aumentar o rendimento de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos realizando uma pré-isomerização dos mesmos.

#### 2.1.1 Matérias-primas

As principais matérias-primas para a produção de cerveja são: água, malte de cevada e cereais não maltados, lúpulo e leveduras.

A água é a matéria-prima utilizada em maior quantidade na produção de cerveja. Esta deve possuir uma composição adequada, de forma a não comprometer a qualidade final da cerveja.

O malte deriva da cevada sendo este obtido através da sua germinação. É caracterizado por ser uma fonte de enzimas, bem como de hidratos de carbono (como o amido) proteínas e lípidos. Esta matéria-prima influencia também a cor da cerveja.

O *gritz* de milho é um tipo de cereal não maltado que é utilizado neste processo. Este é obtido após a moagem e a extração das gorduras e tem como função aumentar o teor de açúcares fermentáveis.

O lúpulo é uma planta na qual estão presentes os  $\alpha$ -ácidos que após isomerização conferem à cerveja o seu sabor amargo.

As leveduras são microrganismos responsáveis por, neste caso, fermentar anaerobiamente, os açúcares em álcool e dióxido de carbono. São organismos unicelulares, classificados como fungos, do género *Saccharomyces*.

### 2.1.2 Fase de fabrico do mosto

Este processo divide-se em cinco partes distintas desde a receção da matéria-prima até à decantação do mosto.

Na figura 2-1 está representado o processo de fabrico do mosto.

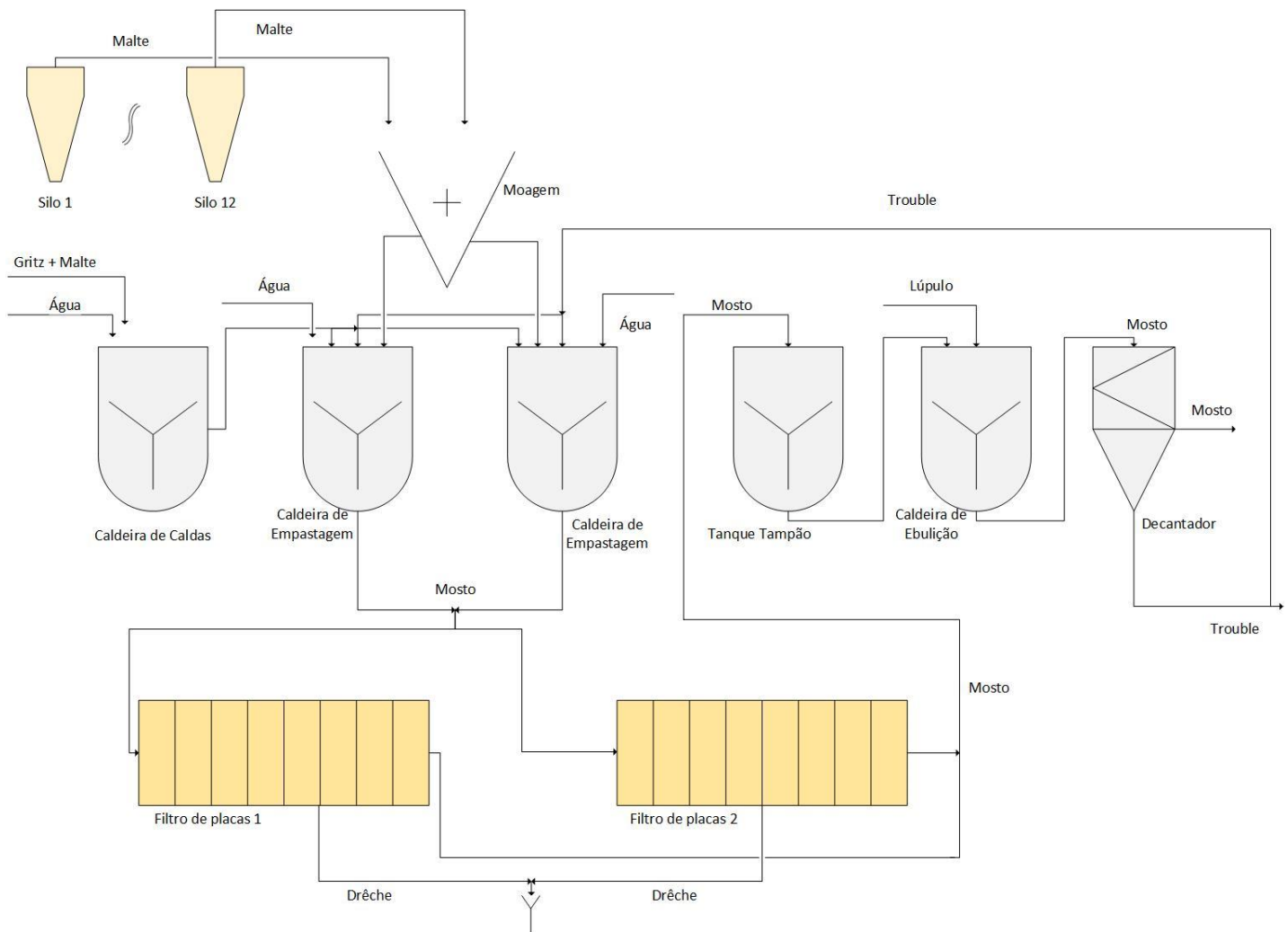


Figura 2-1 - Esquema do processo de fabrico do mosto.

Em primeiro lugar é feita a receção das matérias-primas sendo estas armazenadas em silos.

Posteriormente o malte é submetido a uma etapa de moagem. Esta etapa tem como finalidade reduzir as dimensões das suas partículas, conferindo-lhe uma maior ação enzimática, que se refletirá na maior transformação do amido em glicose. No *grütz* de milho não é necessária qualquer etapa de moagem, uma vez que este já se encontra na granulometria adequada.

Na caldeira de caldas adiciona-se *gritz* juntamente com água e algum malte, onde as enzimas degradam os aminoácidos provenientes do malte e os açúcares do amido, permitindo o posterior desenvolvimento das leveduras na fase de fermentação. A adição de malte fornece as enzimas necessárias ao processo, uma vez que estas não estão presentes no *gritz*. Nas caldeiras de empastagem adiciona-se malte, água e a mistura proveniente da caldeira de caldas, onde sob condições de temperatura e pH controladas ocorre a sacarificação (degradação completa do amido em maltose e dextrose). É também adicionado cloreto de cálcio para estimular a ação enzimática e por vezes *trouble* proveniente da decantação. Este conjunto de processos corresponde à terceira etapa do processo e denomina-se de brassagem, onde já se obtém o mosto.

De seguida o mosto é submetido a uma etapa de filtração, onde se separam da fase líquida todos os componentes insolúveis, pretendendo-se recuperar a maior quantidade de extrato possível. Esta etapa é de elevada importância, pois qualquer contaminação pode posteriormente afetar a qualidade final da cerveja. A fase sólida resultante, denominada de *drêche*, é rejeitada. [2]

Posteriormente o mosto é encaminhado para a etapa de ebulição, realizada a cerca de 104°C, onde se adiciona extrato de lúpulo contendo  $\alpha$ -ácidos. Estes, com a ação da temperatura, sofrem uma reação de isomerização. Os iso- $\alpha$ -ácidos conferem o sabor amargo à cerveja. Nesta etapa é realizada também a esterilização do mosto bem como a evaporação dos compostos indesejáveis, a concentração do mosto, a precipitação de compostos proteicos e a destruição das enzimas, evitando assim que bactérias contaminem e azedem a cerveja ou ainda que ocorra uma alteração não controlada da composição do mosto. O mosto contém também uma gama de substâncias aromáticas indesejáveis que provocam um efeito negativo no aroma da cerveja, que, por ação de elevadas temperaturas a que são submetidas, são evaporadas. [2]

Por fim o mosto é encaminhado para um decantador. Neste, inicialmente existe um tempo de repouso, que é destinado à separação do *trouble* do mosto propriamente dito. O *trouble* é constituído por precipitados e lúpulo não dissolvido durante a ebulição. De seguida o *trouble* é introduzido na etapa da brassagem, mais especificamente na sacarificação. Esta etapa final denomina-se de clarificação do mosto.



### 2.1.3 Fase da adeg

Para transformar o mosto em cerveja, os açúcares devem ser fermentados em álcool e dióxido de carbono.

Na figura 2-2 está representado o processo de fermentação do mosto, com a obtenção de cerveja no final.

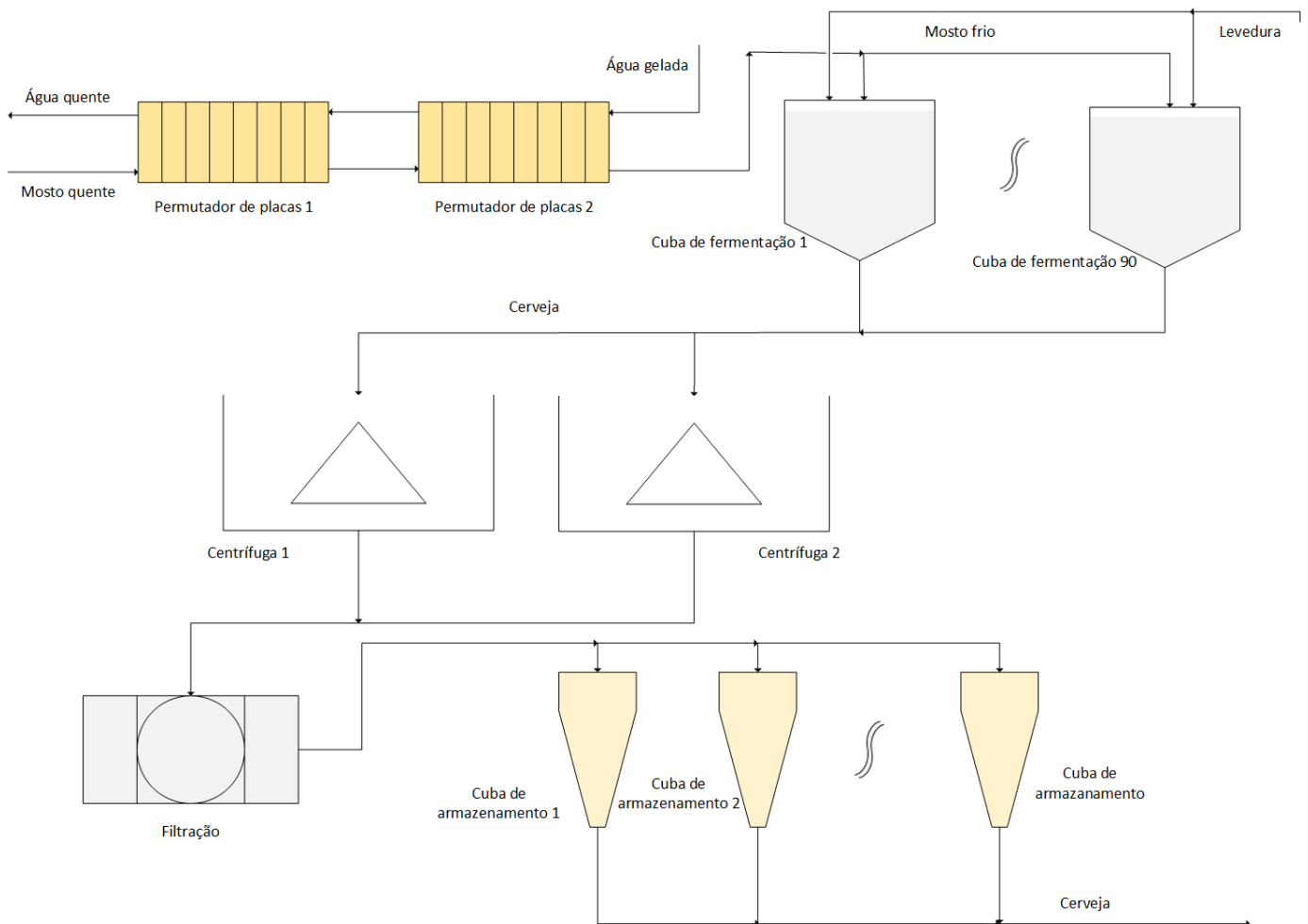


Figura 2-2 - Representação do processo de produção de cerveja, na fase da adeg.

Após a etapa de decantação, referida anteriormente, o mosto é conduzido até à adeg onde é arrefecido num permutador de placas até aos 14 °C (temperatura propícia para ação das leveduras). De seguida o mosto é introduzido nas cubas de fermentação, juntamente com a levedura, iniciando-se o processo de fermentação. Durante este processo ocorre a libertação de espuma e dióxido de carbono no topo da cuba. A fermentação divide-se em duas etapas e dura aproximadamente 10 dias, a primeira é realizada em meio aeróbio onde ocorre a multiplicação das leveduras devido ao oxigénio presente no mosto, a segunda etapa é realizada em meio anaeróbio onde se dá a

fermentação alcoólica. No final, é feito um arrefecimento até aos 7 °C, o que provoca o depósito da levedura no fundo da cuba. Posteriormente, a cerveja sofre uma etapa de maturação. Nesta etapa, a cerveja repousa e a levedura consome substâncias produzidas durante a fermentação, como o diacetilo. Nesta fase ocorre uma melhoria da cor e sabor da cerveja. A levedura é então recolhida e reaproveitada para outras etapas de fermentação, sendo no máximo de 6 ciclos o número de reaproveitamentos possíveis.

Como na cerveja ainda estão presentes células de leveduras, proteínas e polifenóis esta ainda é sujeita a três tratamentos. Em primeiro lugar é realizada uma etapa de centrifugação, de seguida a cerveja é filtrada num filtro de terras de diatomáceas e por último, é filtrada num filtro de polivinilpirrolidona.

No fim de todos estes processos, resulta uma cerveja com um aspeto límpido e já apta para ser enviada para as linhas de enchimento. Nestas linhas, a cerveja pode ser armazenada em três tipos de recipientes, garrafa, lata ou barril.

É de salientar que existem vários tipos de controle analítico ao longo de todo o processo (desde a produção do mosto até ao enchimento da cerveja) que garantem que todos os parâmetros previamente estabelecidos sejam cumpridos e que certificam a inexistência de contaminações.

## 2.2 Lúpulo

O lúpulo tem origem numa planta selvagem originária da Europa e da Ásia Ocidental. Este é usado no fabrico de cerveja pelos Sumérios e Egípcios desde há 3000 anos atrás. [3]

Desde o século XII que o lúpulo tem sido utilizado exaustivamente na indústria cervejeira alemã, e gradualmente foi sendo introduzido no resto do mundo. Hoje em dia, em toda a produção de cerveja é adicionada esta matéria-prima ou seus derivados. [3]

O lúpulo contém resinas amargas ( $\alpha$ -ácidos) que após a isomerização, conferem à cerveja o seu sabor amargo característico.

### 2.2.1 Composição do lúpulo

A composição do lúpulo é bastante importante para a qualidade da cerveja produzida e pode ser visualizada na tabela 2-1.

Tabela 2-1 – Valores médios de referência da composição do Lúpulo em percentagem mássica. [3]

<b><math>\alpha</math>-ácidos</b>	<b>2-12 %</b>
<b>Aminoácidos</b>	0,1 %
<b><math>\beta</math>-ácidos</b>	1-10 %
<b>Celulose</b>	40-50 %
<b>Óleo de Lúpulo</b>	0,5 – 5 %
<b>Óleos e ácidos gordos</b>	Vestígios até 25 %
<b>Polifenóis</b>	2 – 5 %
<b>Proteínas</b>	1 %
<b>Minerais</b>	10 %
<b>Água</b>	8 – 12 %

Os constituintes mais importantes do lúpulo para a produção de cerveja são as resinas e substâncias amargas ( $\alpha$ -ácidos), os óleos de lúpulo e os polifenóis. [2]

### 2.2.2 $\alpha$ -ácidos

O lúpulo, tradicionalmente, é adicionado no processo de produção de cerveja no início ou durante a etapa de ebulição do mosto. Durante esta etapa, os  $\alpha$ -ácidos são extraídos do lúpulo, sendo solubilizados e consequentemente transformados em iso- $\alpha$ -ácidos. Estes últimos são os principais responsáveis pelo sabor amargo da cerveja, contribuindo não só para a estabilização da espuma da cerveja como também para a inibição do crescimento de bactérias do tipo gram-positivo (como as do género *Lactobacillus*). [4]

Na figura 2-3 apresenta-se uma molécula de  $\alpha$ -ácidos.

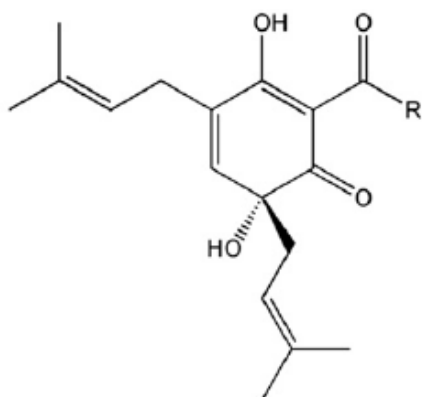


Figura 2-3 – Estrutura de uma molécula de  $\alpha$ -ácidos. [5]

### 2.3 Isomerização de $\alpha$ -ácidos

A isomerização dos  $\alpha$ -ácidos em iso- $\alpha$ -ácidos é um processo lento. Apesar da maior parte ocorrer durante a etapa de ebulição, ainda é possível observar reações de isomerização durante a decantação do mosto, terminando apenas quando o mosto é arrefecido. [6]

O mecanismo de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos consiste numa reação de tautomerização de um enol (alceno-álcool) não dissociado com a correspondente cetona, devido a desprotonações sucessivas de moléculas de beta-tricarbonilos. Deste processo resultam dois iso- $\alpha$ -ácidos, um cis-iso- $\alpha$ -ácido e um trans-iso- $\alpha$ -ácido. [4]

A isomerização dos  $\alpha$ -ácidos ocorre espontaneamente a temperaturas elevadas (entre 70 a 120 °C), mas a sua eficiência aumenta na presença de bases ou metais. Normalmente, as bases inorgânicas são as mais utilizadas na reação de isomerização. Contudo, recentemente foi testada a utilização de bases orgânicas, obtendo-se um rendimento de isomerização de cerca de 90% ao fim de 6 horas. Os cis-iso- $\alpha$ -ácidos são bastante mais estáveis na sua forma trans na matriz ácida da cerveja. A relação entre cis e trans-iso- $\alpha$ -ácidos é fortemente influenciada pelas condições da reação e pelos aditivos adicionados. [4]

Na figura 2-4 visualiza-se o resultado da transformação de uma molécula de  $\alpha$ -ácidos na sua forma isomerizada, obtendo-se assim uma molécula de trans-iso- $\alpha$ -ácidos e uma molécula de cis-iso- $\alpha$ -ácidos.

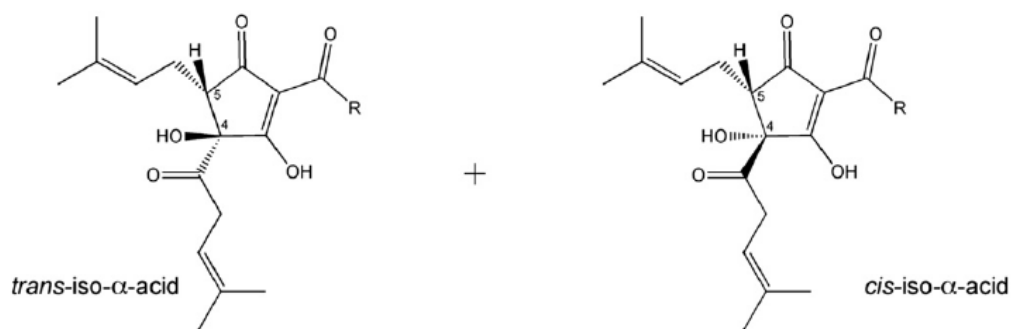


Figura 2-4 - Representação das moléculas isomerizadas de  $\alpha$ -ácidos. [5]

A eficiência da isomerização dos  $\alpha$ -ácidos é definida como a relação entre a concentração de iso- $\alpha$ -ácidos na cerveja produzida e a concentração de  $\alpha$ -ácidos adicionados inicialmente ao mosto. Esta eficiência, e consequentemente o sabor amargo, são influenciados por alguns fatores como: [2]

- A natureza dos iso- $\alpha$ -ácidos, uma vez que diferentes componentes de  $\alpha$ -ácidos sofrem transformações diferentes;
- A duração da etapa de ebulição também influencia o seu rendimento, pois um aumento desta favorece um aumento de iso- $\alpha$ -ácidos.
- O pH também representa uma influência importante, pois para valores elevados de pH a isomerização dos  $\alpha$ -ácidos é maior, no entanto, para valores mais baixos, o sabor amargo obtido é considerado mais equilibrado;
- A precipitação de iso- $\alpha$ -ácidos na etapa de decantação;

### 2.3.1 Natureza dos iso- $\alpha$ -ácidos

O tipo de lúpulo, e consequentemente a origem dos  $\alpha$ -ácidos também influenciam a sua taxa de isomerização. Na figura 2.5 visualiza-se o lúpulo na sua forma natural, em forma de cone.



Figura 2-5 – Lúpulo em cone. [2]

No lúpulo em forma de cone, devido à maior dificuldade em obter os óleos e resinas amargas ( $\alpha$ -ácidos), a isomerização é mais lenta. Utilizando lúpulo em forma de *pellets* e extrato de lúpulo, a reação de isomerização é mais rápida. [6]

Os  $\alpha$ -ácidos podem ser divididos em cinco tipos distintos, *cohumulone*, *humulone*, *adhumulone*, *prehumulone* e *posthumulone*, que diferem apenas numa cadeia lateral da sua estrutura, como se pode observar pela figura 2-6. Estes são divididos em 15% *adhumulone*, 20 a 50% *cohumulone*, e 20 a 50% *humulone*. A quantidade de *cohumulone* e *adhumulone* varia com o tipo de lúpulo. [5]

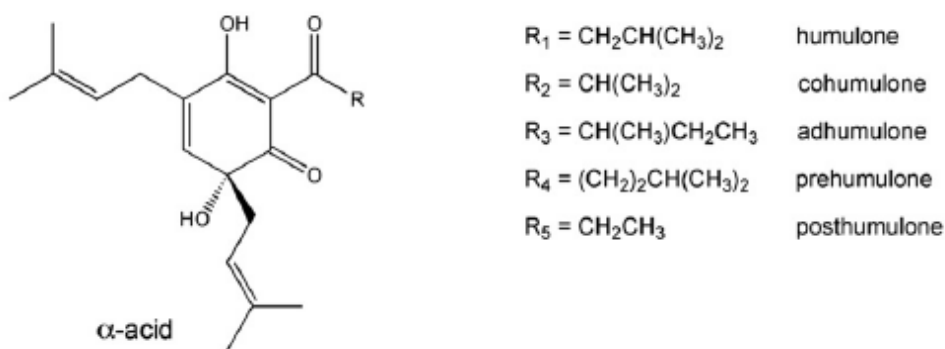


Figura 2-6 - Representação das cadeias dos diferentes tipos de  $\alpha$ -ácidos. [5]

### 2.3.2 Duração da etapa de ebulição

Numa etapa de ebulição convencional, o mosto é submetido a uma ebulição realizada à pressão atmosférica, a cerca de 104 °C, com uma duração entre 60 a 120 minutos. [6]

A isomerização dos  $\alpha$ -ácidos é um processo lento. Apesar da maioria dos  $\alpha$ -ácidos ser isomerizada no início da etapa de ebulição, decrescendo progressivamente a taxa de isomerização ao longo desta, verificam-se ainda reações de isomerização até ao arrefecimento total do mosto. [2,6]

Uma etapa de ebulição mais longa conduz a uma taxa de isomerização mais elevada. [6]

### 2.3.3 Influência do pH

A isomerização dos  $\alpha$ -ácidos em iso- $\alpha$ -ácidos é influenciada pelo pH, sendo favorecida em condições alcalinas (numa gama de pH entre 8 e 10), onde é possível alcançar uma taxa de conversão de 90%. Contudo, na etapa de ebulição, o rendimento de isomerização teórico é de apenas 60%, uma vez que o mosto inicialmente encontra-se a um pH entre 5,1 e 5,3, sendo que no final, 40% dos  $\alpha$ -ácidos (após isomerização) ainda estão presente na cerveja. [7]

Devido à precipitação de proteínas, fosfatos secundários e à dissolução de  $\alpha$ -ácidos, o pH diminui durante a etapa de ebulição. Geralmente, quanto maior for o pH do mosto, maior será o seu decréscimo. [6]

Normalmente, um mosto do tipo *Lager*<sup>1</sup> apresenta um pH entre 5,4 e 5,8 após a etapa de ebulição, sendo que durante esta etapa ocorre uma redução de pH entre 0,20 a 0,25. O pH é também influenciado pelas propriedades da água utilizada, o tipo de mosto e alguma acidificação deste. [6]

Contudo, num mosto onde o pH é baixo, a dissolução e isomerização das substâncias amargas do lúpulo é reduzida, e consequentemente a taxa de isomerização é baixa. [6]

---

<sup>1</sup> Cervejas do tipo *Lager* são cervejas de baixa fermentação, sendo realizada a temperaturas mais baixas, onde no fim da fermentação a levedura deposita na base da cuba. [3]

J. Barbara et al [7] estudaram o efeito do pH na isomerização dos  $\alpha$ -ácidos. Foram realizadas experiências utilizando extrato de lúpulo numa etapa de ebulição de mosto durante 60 minutos, a um pH de 4,8, a 7,0.

Verificou-se que quando é utilizado um pH de mosto mais elevado (6,0 e 7,0) o rendimento de isomerização é superior, sendo que a taxa de isomerização mais baixa obtida corresponde ao pH de mosto de 4,8. Verificou-se também que quando a ebulição do mosto é realizada a um pH de 7,0, o rendimento de isomerização obtido é cerca do dobro comparativamente ao obtido numa ebulição a um pH de 5,2 e 5,5. Este conjunto de resultados leva à conclusão que o fator limitante no rendimento de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos é a primeira etapa da reação de isomerização, onde se dá a formação de um anião (figura 2-7), etapa essa que é favorecida por condições de pH mais elevado.

O rácio de cis- $\alpha$ -ácidos e trans- $\alpha$ -ácidos formados é independente do pH.

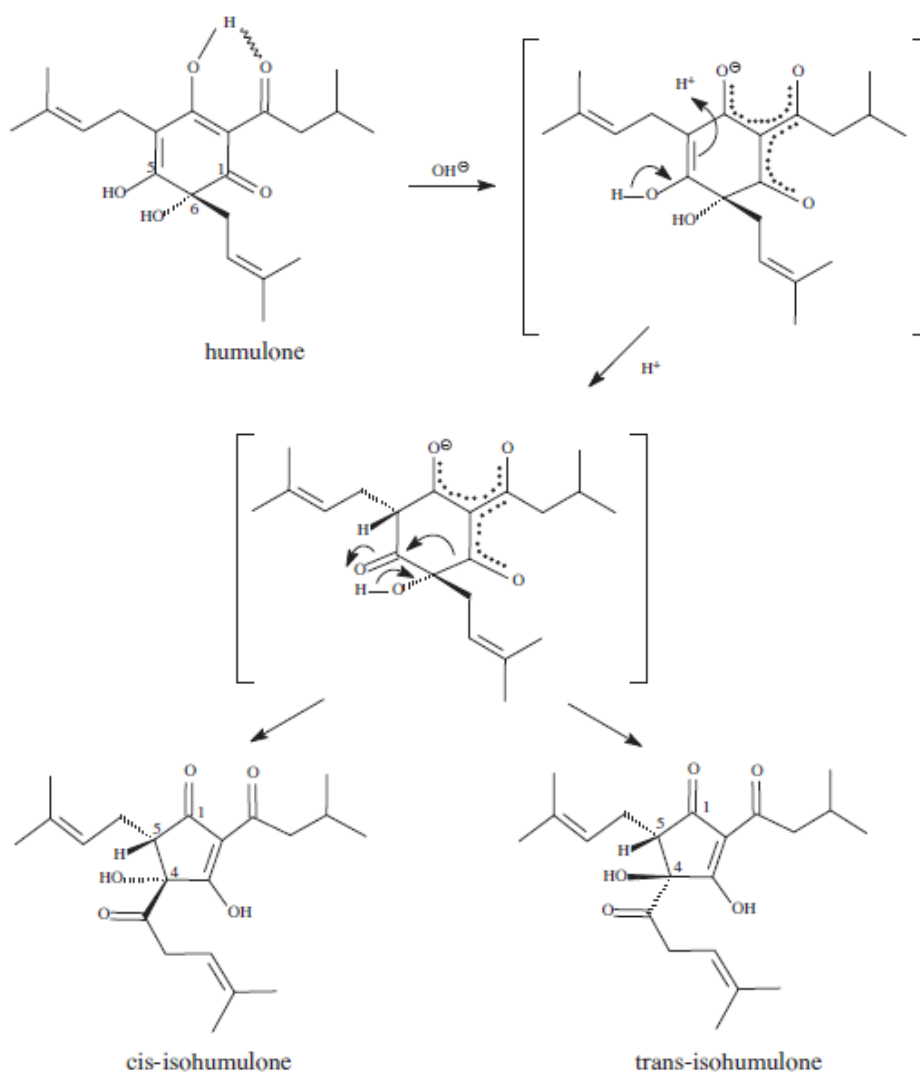


Figura 2-7 - Reação de isomerização de  $\alpha$ -ácidos. [7]



## 2.4 Lúpulo Pré-isomerizado

O lúpulo pré-isomerizado tem vindo a ser desenvolvido com vista a aumentar o rendimento de isomerização e consequentemente reduzir os custos de produção de cerveja.

Estes produtos podem ser classificados em lúpulo pré-isomerizado para adicionar ao mosto ou lúpulo pré-isomerizado para adicionar após a fermentação.

O lúpulo pré-isomerizado que pode ser adicionado ao mosto é dividido em três tipos:

- Iso-*pellets*;
- IKE (Isomerized Kettle Extract);
- PIKE (Potassium-form Isomerized Kettle Extract).

As iso-*pellets* são produzidas e embaladas de forma similar às *pellets* convencionais, no entanto é adicionado catalisador em pó durante o processo de fabrico das *pellets*, que pode ser por exemplo óxido de magnésio. Para que as reações de isomerização possam ocorrer, este produto deve ser armazenado num local quente durante um dado período, determinado pelo controlo analítico da reação, e no final da mesma, as iso-*pellets* são armazenadas num ambiente frio. [8]

Este tipo de reação não afeta as substâncias amargas presentes, com exceção dos  $\alpha$ -ácidos. A sua adição no mosto não depende do tempo, e pode ser realizada 10 minutos antes do fim de ebulição. Para este tipo de aplicação em particular, a quantidade de lúpulo adicionada é inferior comparando com a adição de lúpulo convencional, pois o rendimento de isomerização é superior. [8]

Em alternativa às iso-*pellets* existem iso-extratos produzidos através de extrato de lúpulo.

Os extratos de lúpulo IKE e PIKE são isomerizados com o auxílio de catalisadores, onde no caso do IKE o rendimento de isomerização está compreendido entre 40% a 60%, relativamente ao PIKE situa-se nos 30% a 50%, dependendo, em ambos os casos, da variedade do lúpulo utilizado. Neste caso o extrato de lúpulo isomerizado deve ser adicionado no início da ebulição. [9,10]

O lúpulo pré-isomerizado que é adicionado após a fermentação pode ser classificado da seguinte forma:

- Iso;

- Rho;
- Tetra;
- Hexa.

O lúpulo tetra, lúpulo utilizado na Unicer, contém cerca de 10% de tetrahydro-iso- $\alpha$ -ácidos. O uso deste tipo de  $\alpha$ -ácidos ajuda a estabilidade da espuma da cerveja. [11]

O amargo obtido pela utilização dos tetrahydro-iso- $\alpha$ -ácidos é bastante similar ao obtido utilizando o extrato de lúpulo. Relativamente aos rho-iso- $\alpha$ -ácidos é ligeiramente inferior. [11]

Os produtos de lúpulo pré-isomerizados só podem ser adicionados depois da fermentação pois não contém mais componentes à exceção dos  $\alpha$ -ácidos, sendo implícita uma adição de lúpulo na etapa de ebulição. De forma a obter-se o maior aproveitamento possível deste tipo de compostos, é recomendável a sua adição o mais tarde possível no processo, sendo preferível durante a etapa de filtração da cerveja. Após esta etapa é desaconselhado o seu uso, devido a compostos que não estejam completamente dissolvidos. [11]

## 2.5 Pré- Isomerização dos $\alpha$ -ácidos ou isomerização offline

Tradicionalmente, o lúpulo é adicionado no início da etapa de ebulição do mosto. Esta abordagem tem algumas desvantagens, como a difícil dissolução dos  $\alpha$ -ácidos e consequente baixa taxa de isomerização ao pH a que se encontra o mosto, normalmente entre 5 e 6, obtendo-se taxas de isomerização de cerca de 40%.

Como referido anteriormente, existe forma de combater o baixo rendimento de isomerização, utilizando extrato de lúpulo já isomerizado. Apesar de o lúpulo IKE e PIKE apresentarem maior rendimento de isomerização, em comparação com a utilização de lúpulo não isomerizado, existem métodos onde é possível alcançar um rendimento de isomerização superior.

Desta forma, foi desenvolvido um método apresentado na patente US 8710273 B2 de 29/04/2014, [12] que consiste numa isomerização *offline* ou pré-isomerização do extrato de lúpulo, permitindo assim aumentar consideravelmente a taxa de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos.

A partir do extrato de lúpulo, a isomerização *offline* ou pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos pode ser alcançada utilizando compostos à base de metais alcalinos ou alcalinoterrosos,

através de dois processos. O primeiro processo consiste numa reação sem a utilização de solventes, enquanto no segundo processo a isomerização dos  $\alpha$ -ácidos ocorre após a adição de solventes, como água pura ou misturas de água e solventes orgânicos.

Em ambos os processos, os compostos à base de metais alcalinos ou alcalinoterrosos atuam como catalisadores heterogêneos que não se dissolvem no extrato de lúpulo, e como consequência, não se encontram catiões de metais alcalinoterrosos dissolvidos nos iso- $\alpha$ -ácidos obtidos. No final da isomerização, o catalisador heterogêneo utilizado pode ser reciclado, utilizando processos de separação sólido-líquido. Durante a reação de isomerização, apenas se dissolve menos de 0,1% do catalisador heterogêneo.

Os catalisadores heterogêneos podem ser, preferencialmente, do tipo aluminato, titanato, silicato e/ou hidroxiapatite, conjugados com magnésio, cálcio, estrôncio e bário. De forma a ser considerado catalisador de elevada área superficial, esta deve ser pelo menos 10 m<sup>2</sup>/g. A razão molar entre os  $\alpha$ -ácidos e o catalisador heterogêneo deve situar-se entre 5 e 10.

Para apresentar atividade catalítica significativa, o catalisador deve conter pelo menos 5% em massa de metais alcalinoterrosos, em base seca, e pode ser utilizado na sua forma anidra ou hidratado.

A reação de isomerização deve ser realizada, preferencialmente, a uma temperatura de 323K a 373K utilizando atmosfera inerte, durante tempo suficiente, para atingir uma conversão de  $\alpha$ -ácidos de 95%, com uma seletividade de iso- $\alpha$ -ácidos também de 95%. No final da reação de isomerização é necessária uma etapa de separação sólido-líquido, de forma a separar o catalisador heterogêneo da mistura. Esta etapa pode ser uma centrifugação, filtração ou decantação.

Ao utilizar este método, obtém-se uma razão molar de cis-iso- $\alpha$ -ácidos e trans-iso- $\alpha$ -ácidos, entre 70:30 e 90:10. Os iso- $\alpha$ -ácidos são mais estáveis na forma cis do que na sua forma trans.

Na reação de isomerização com utilização de solventes, estes podem ser água, dióxido de carbono e solventes orgânicos, como álcool e/ou glicol, ou ainda misturas destes solventes.

Esta reação ocorre num reator do tipo *batch*, onde se adiciona o extrato de lúpulo e o catalisador heterogêneo. Como não existe dissolução significativa do catalisador no produto obtido, poderá também ser utilizado, como alternativa, um reator tubular de leito fixo.

Uma vez que não são necessárias etapas adicionais à etapa da separação do catalisador do produto final, o processo da isomerização *offline* torna-se uma vantagem. De referir que os iso- $\alpha$ -ácidos são essencialmente livres de subprodutos misturados, como por exemplo o ácido humulínico, resultante de degradação alcalina ou hidrolítica dos  $\alpha$ -ácidos. Na sua composição, os subprodutos correspondem a menos de 1%.

Dos ensaios realizados os autores concluíram que para obter o máximo rendimento possível a reação deverá ser efetuada sem solvente, durante 18 horas a uma temperatura de 363K. O catalisador que produz melhores resultados é o catalisador HSA-BaAL<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – Aluminato de bário de elevada área superficial (93,7% de rendimento de isomerização). Este pode ser reciclado, resultando apenas na perda de cerca de 1% de rendimento, comparativamente aos resultados utilizando o mesmo catalisador fresco.

## 2.6 Cor

À vista desarmada a cor da cerveja varia entre um amarelo claro e translúcido até um castanho-escuro, quase preto e opaco.

A cor do malte utilizado afeta significativamente a cor da cerveja, no entanto, os processos térmicos combinados com possível stress oxidativo (especialmente na fase da moagem) e a variação do pH ao longo de todo o processo de produção também apresentam alguma influência. As cervejas mais claras devem-se a métodos de ebulição mais suaves. A adição de maltes especiais mais escuros serve para ajustar a cor da cerveja. [13]

O malte *pilsen* é um malte claro e a sua cor deve variar entre 2,5 e 3,5 EBC (European Brewing Convention) com uma viscosidade menor que 1,55 mPa.s, deve conter pelo menos 20% de azoto dissolvido. A germinação do malte deve ser uniforme. [2]

O malte de chocolate é usado para se obter uma cor mais escura na cerveja. Em relação ao malte *pilsen*, este deve corresponder entre 0,5% a 2% da quantidade total utilizada. Para a produção deste tipo de malte é utilizado malte germinado sendo posteriormente humedecido, aquecido e rapidamente arrefecido. A cor do malte de chocolate está compreendida entre 800 EBC a 1600 EBC. [2]



### 3. Análise de resultados

#### 3.1 Estudo da isomerização dos $\alpha$ -ácidos

##### 3.1.1 Análise dos valores de amargo no fabrico

No seguimento dos objetivos propostos para a realização deste trabalho, foi realizada uma recolha do histórico dos valores de amargo na cerveja e das variáveis que o afetam, desde o início do ano de 2015, com o intuito de perceber a sua influência no produto final. Assim, numa primeira abordagem efetuou-se o estudo do processo de produção de cerveja com vista a identificar as referidas variáveis, como o rendimento de isomerização e o pH.

A etapa de ebulição tem como uma das suas finalidades isomerizar as substâncias amargas presentes no lúpulo. O rendimento de isomerização representa a capacidade da etapa de ebulição em isomerizar os compostos ativos do lúpulo, ou seja, quanto maior for este rendimento maior será o aproveitamento dos  $\alpha$ -ácidos disponíveis e consequentemente maior o valor de amargo. A amostra para análise de amargo no fabrico é retirada após a etapa de decantação, quando o mosto é arrefecido, ver figura 2.2.

O rendimento de isomerização foi calculado como está descrito no anexo A-1. Os resultados obtidos podem ser visualizados na figura 3-1.

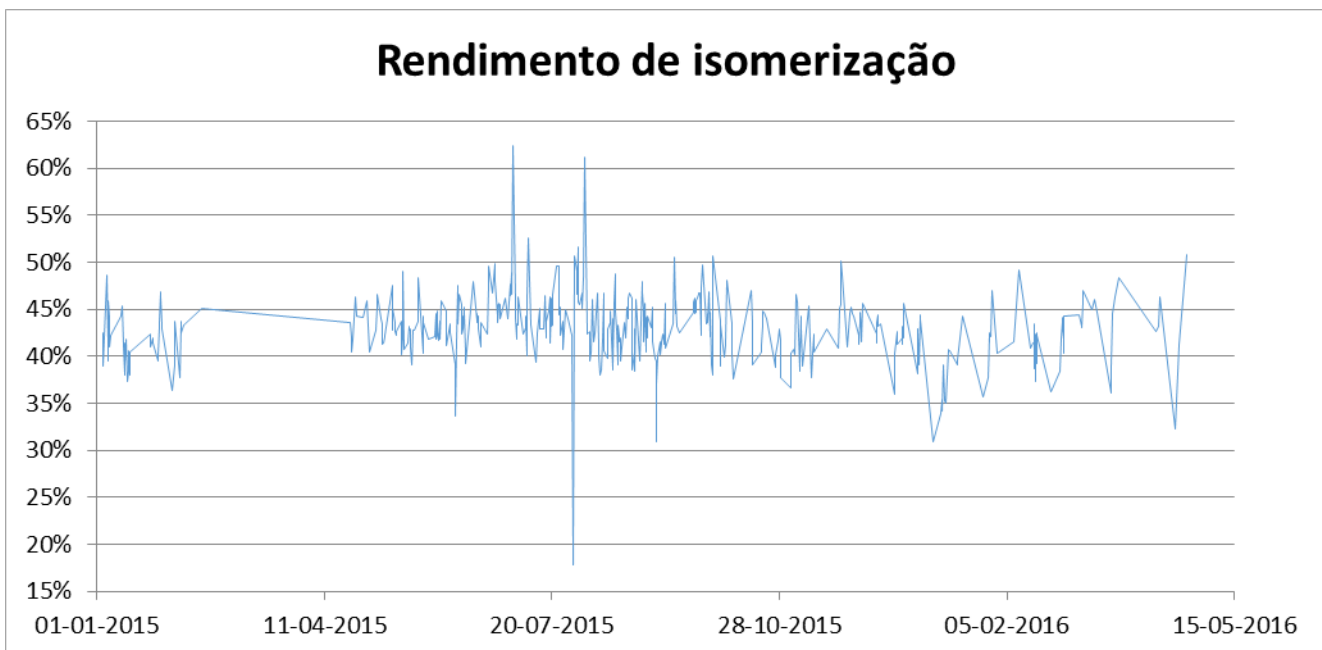


Figura 3-1 – Rendimento de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos.

Observando a figura 3-1 verifica-se que o comportamento do rendimento de isomerização é bastante oscilatório, não existindo uma tendência, variando entre 35% e 50%, ocorrendo esporadicamente valores que atingem os 17% e os 60% a 65%.

O rendimento de isomerização é influenciado por vários fatores como a natureza dos iso- $\alpha$ -ácidos, a duração da etapa de ebulição, o pH e a precipitação de iso- $\alpha$ -ácidos durante a etapa de decantação, bem como a ocorrência de reações de isomerização durante esta etapa.

Uma vez que a duração da etapa de ebulição é programada automaticamente não se verifica discrepância na sua duração entre fabricos de mosto.

Na figura 3-2 está representado o comportamento do rendimento de isomerização em relação ao amargo do mosto, ou seja no fim de fabrico. Pretende-se que o rendimento de isomerização seja o mais elevado possível, pois assim seria possível reduzir a quantidade de extrato de lúpulo adicionado na etapa de ebulição e consequentemente reduzir os custos de fabrico.

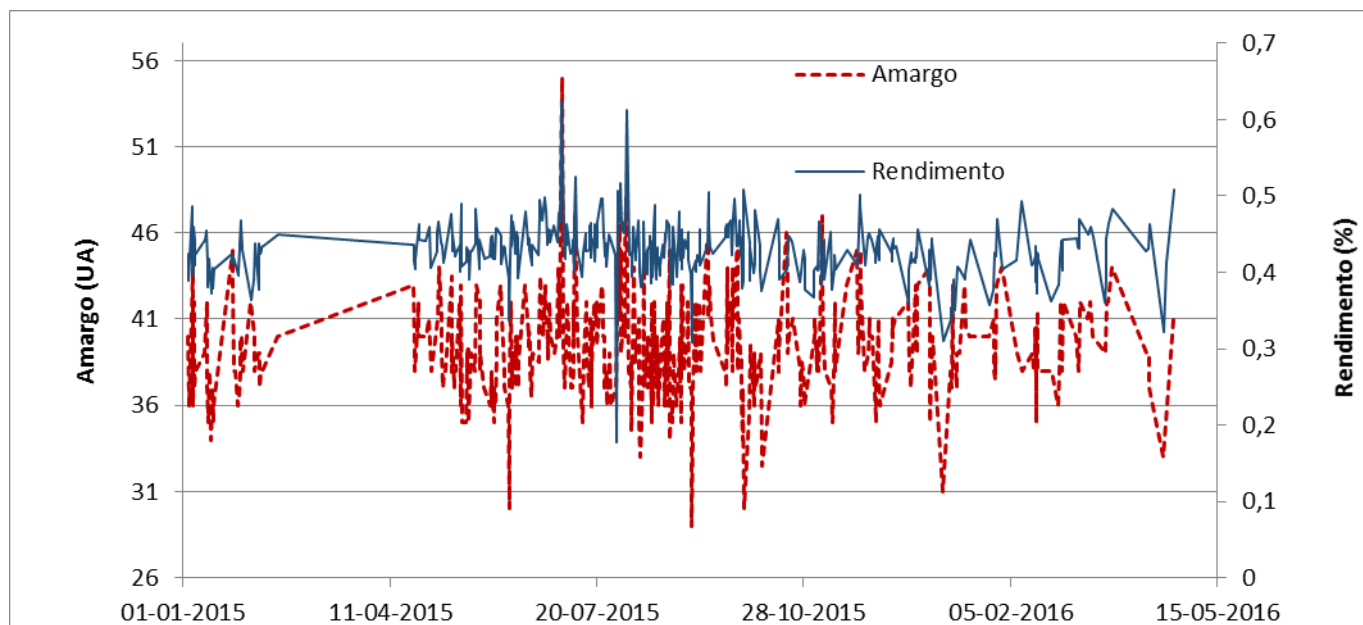
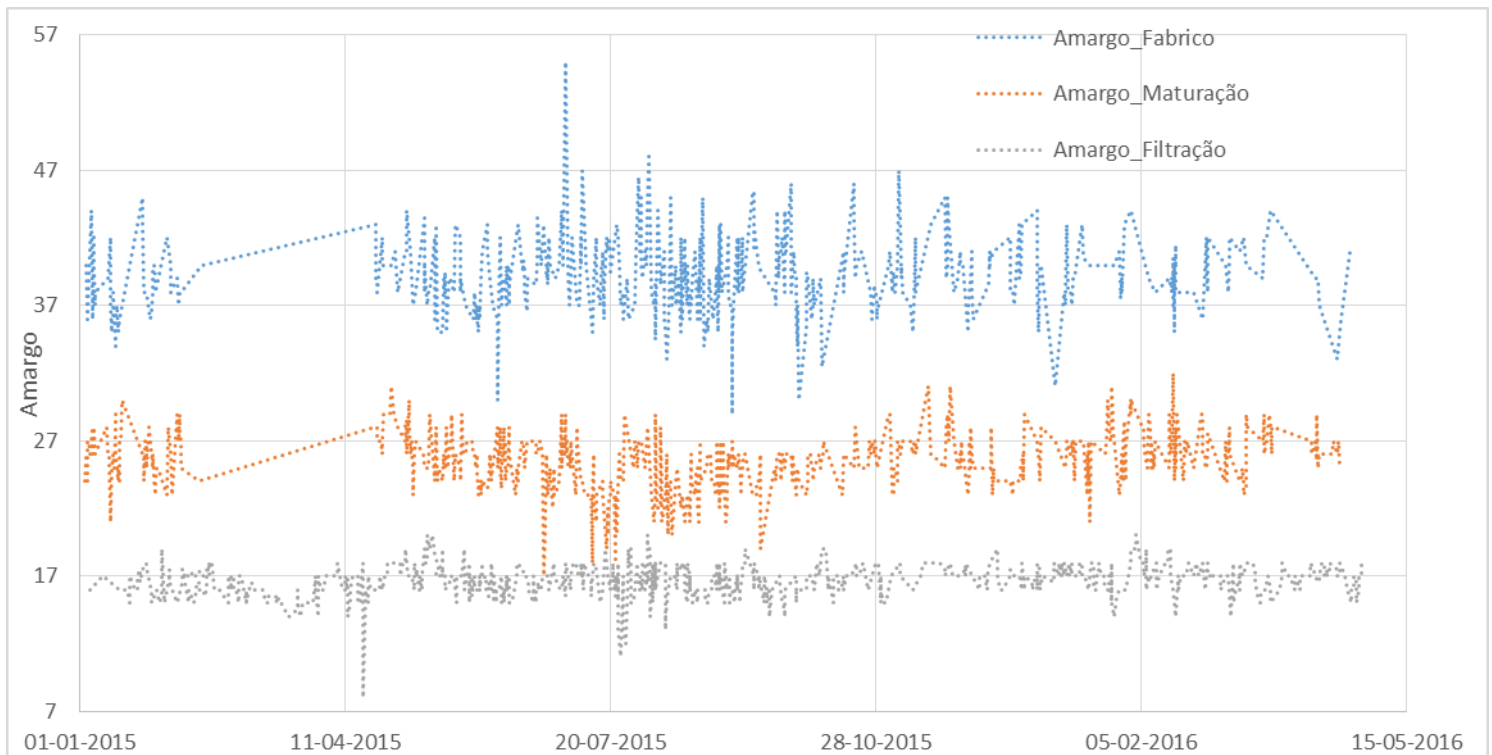


Figura 3-2 – Relação entre o amargo de fabrico e o rendimento de isomerização.

Visualizando a figura 3-2 verifica-se que o valor de amargo e o rendimento de isomerização apresentam um comportamento similar, o que seria de prever pois o valor de amargo é dependente da taxa de isomerização do extrato de lúpulo, sendo que quanto maior for o rendimento de isomerização maior será o valor de amargo do mosto. No sentido inverso verifica-se a mesma relação.

Na figura 3-3 está representado o comportamento dos valores de amargo para as três etapas do processo, fabrico, maturação e filtração.



**Figura 3-3 – Relação entre o amargo nas três etapas do processo de produção de cerveja.**

Pela análise da figura 3-3 verifica-se que o valor de amargo decresce gradualmente à medida que o processo avança. Este fenómeno ocorre devido a alguns fatores:

- No fabrico poderá estar relacionado com a incompleta isomerização dos  $\alpha$ -ácidos durante a etapa de ebulição;
- Na etapa de maturação, é importante a duração da fermentação, pois os  $\alpha$ -ácidos aderem às paredes das células de levedura, o que origina a sua perda aquando da centrifugação e filtração da cerveja. Esta diminuição é também influenciada pela perda de amargo durante a formação de espuma na fermentação.
- No final, a cerveja sofre uma diluição durante a etapa da filtração, contribuindo também para a diminuição do amargo final.

O valor de amargo na cerveja comercializada deve estar compreendido entre 14 e 18 UA sendo o ideal 16 UA.

O pH é um dos vários fatores que influenciam o rendimento de isomerização e por sua vez o valor final de amargo. Num mosto onde o pH é baixo, a dissolução e isomerização das substâncias amargas do extrato de lúpulo é reduzida, e consequentemente a taxa de isomerização é baixa.



Nas figuras 3-4, 3-5 e 3-6 está representada a relação entre o valor de amargo e valor de pH para cada uma das três fases do processo, fabrico, maturação e filtração.

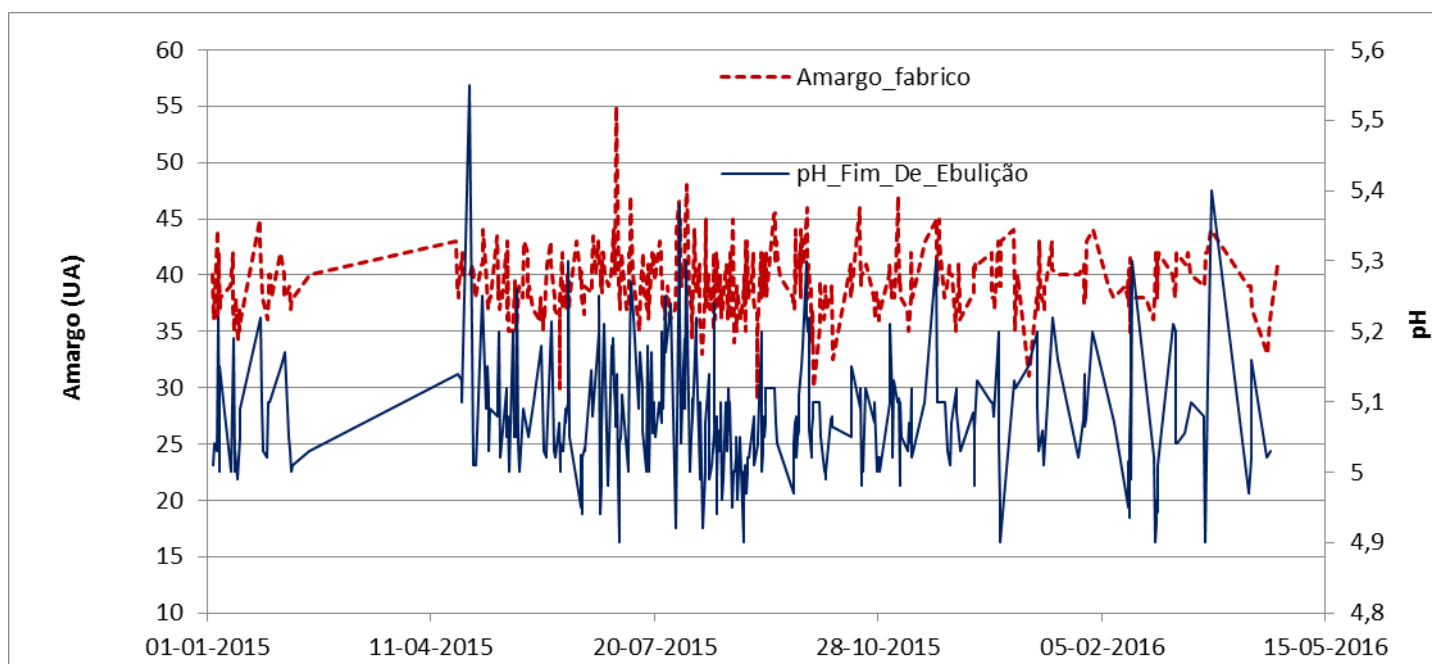


Figura 3-4 – Relação entre o amargo de fabrico e o pH de fim de ebulição.

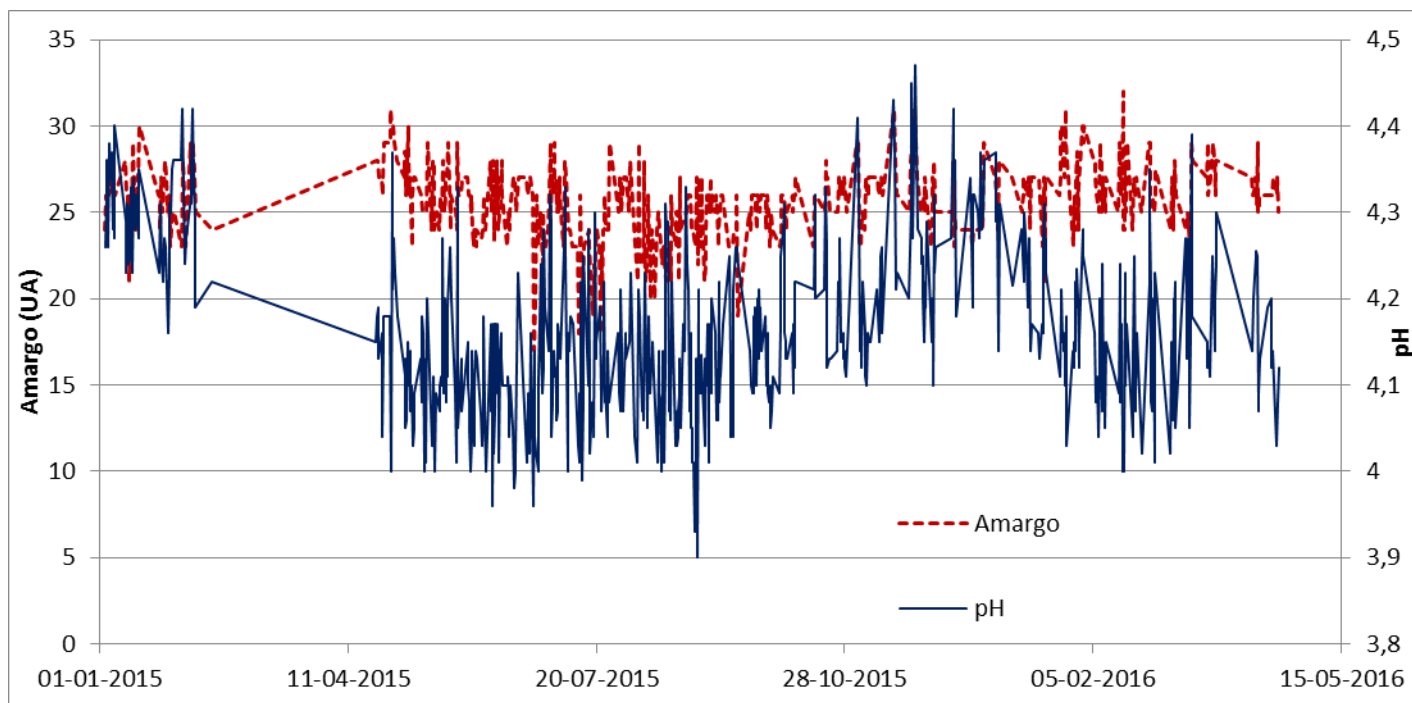


Figura 3-5 – Relação entre o amargo e o pH na etapa de maturação.

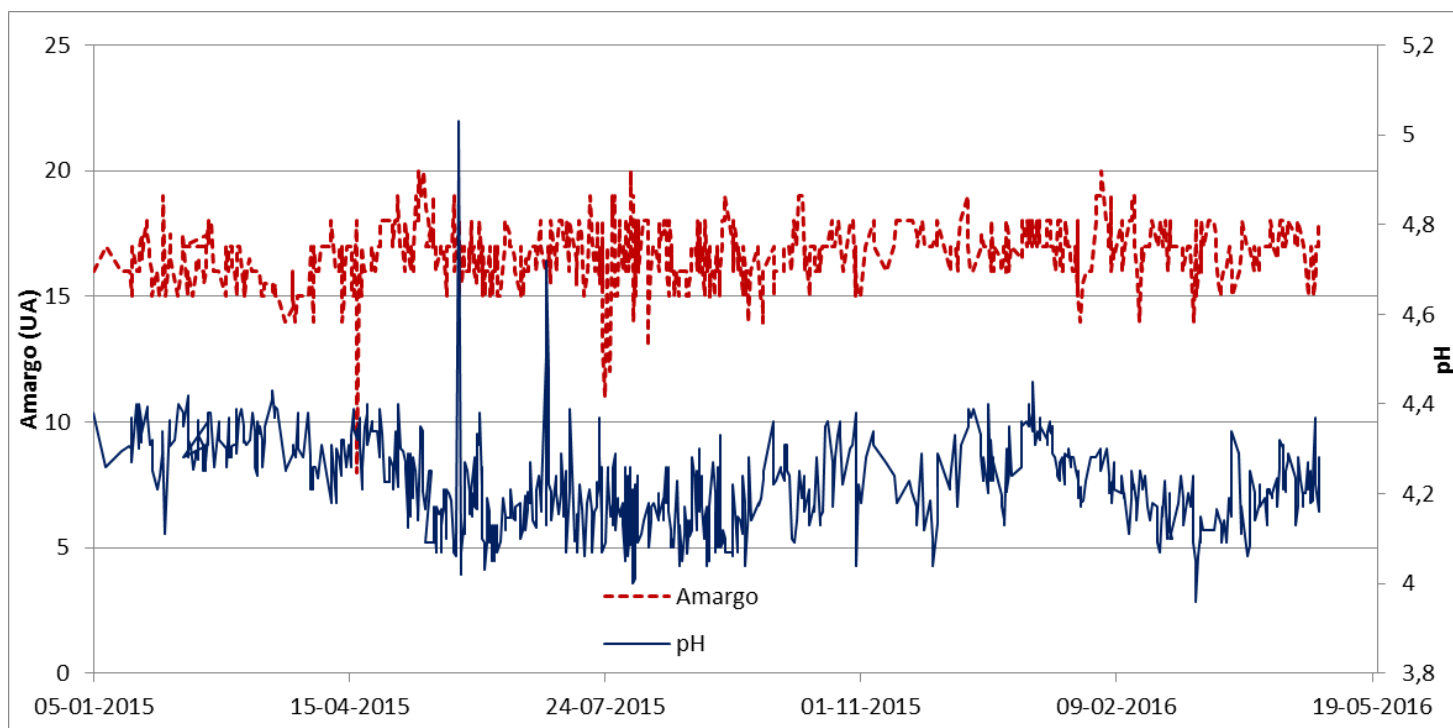


Figura 3-6 – Relação entre o amargo e o pH na etapa de filtração da cerveja.

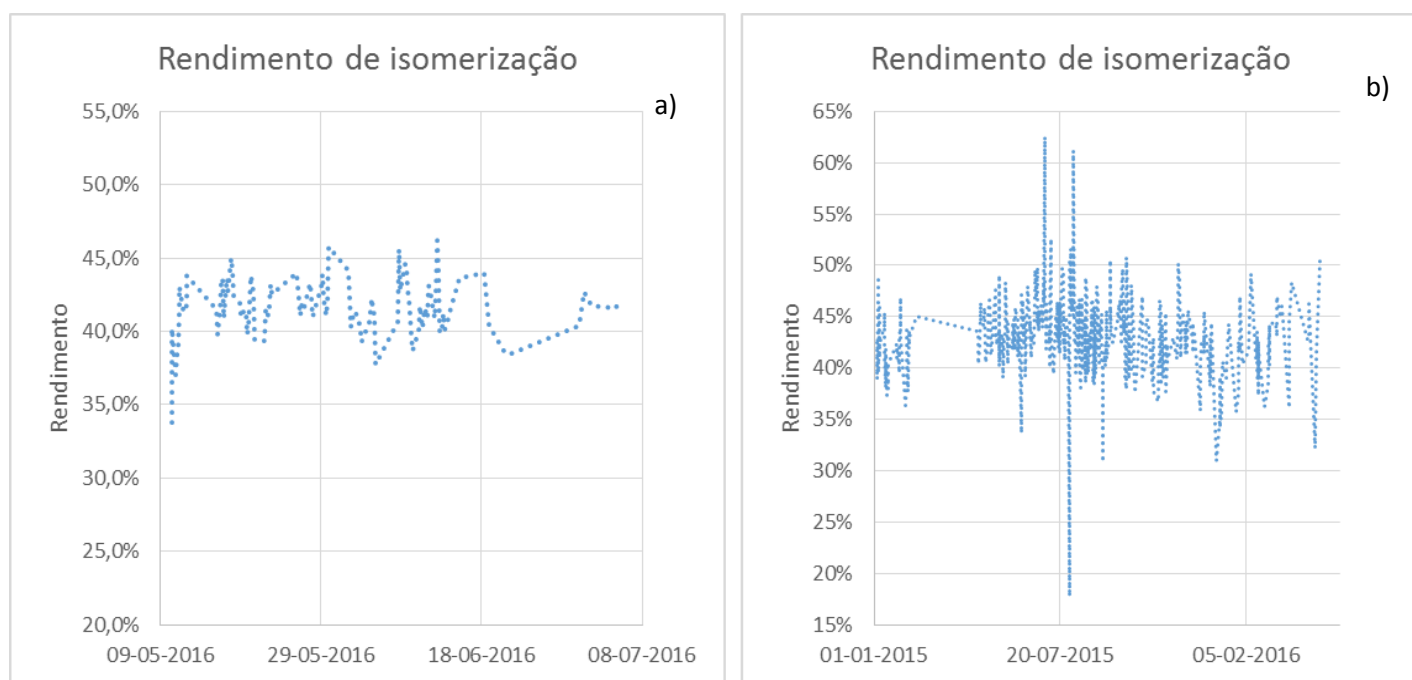
A isomerização dos  $\alpha$ -ácidos em iso- $\alpha$ -ácidos é influenciada pelo pH, sendo favorecida em condições alcalinas (numa gama de pH entre 8 e 10), onde é possível alcançar uma taxa de conversão de 90%, contudo, devido a restrições de controlo de qualidade da cerveja, não é possível alcançar essa gama de pH. Como se pode visualizar nas figuras 3-4, 3-5 e 3-6, o pH de fim de ebulição está situado entre os 4,9 e os 5,5, o pH de maturação entre os 4 e 4,4 e o pH final da cerveja, após a etapa de filtração situa-se também entre os 4 e 4,4.

Apesar de teoricamente um pH mais elevado originar valores de amargo superiores e por consequência um pH mais baixo originar valores de amargo mais reduzidos, o mesmo não se verifica na realidade. Analisando as figuras 3-4, 3-5 e 3-6 é possível constatar que, dentro da gama de pH de cada uma das três etapas, fabrico, maturação e filtração, não existe um comportamento tendencial, ou seja, é possível obter valores de amargo elevados tanto para um pH baixo, como para um pH mais elevado, sendo difícil o seu controlo.

## 3.1.2 Efeito do tipo de extrato de lúpulo

Como já referido anteriormente, o lúpulo é uma planta na qual estão presentes os  $\alpha$ -ácidos que após isomerização conferem à cerveja o seu sabor amargo. Usualmente o extrato de lúpulo adicionado na etapa de ebulição é do tipo Magnum-Herkules-Taurus (Anexo A.2.2.1), armazenado numa câmara de lúpulo. Entre 10-5-2016 e 4-7-2016 foi necessário adicionar uma mistura de extrato de lúpulo contendo 50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget (Anexo A.2.2.2), lúpulo em lata. Assim, foram controlados os parâmetros de amargo e de pH no fabrico do mosto. O controlo destes parâmetros permitiu verificar a influência que o tipo de extrato de lúpulo adicionado ao mosto apresenta nas características finais do mesmo.

Nas figuras 3-7a) e 3-7b) estão representados os resultados obtidos relativos ao rendimento de isomerização utilizando a mistura de extrato de lúpulo e extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus, respetivamente.

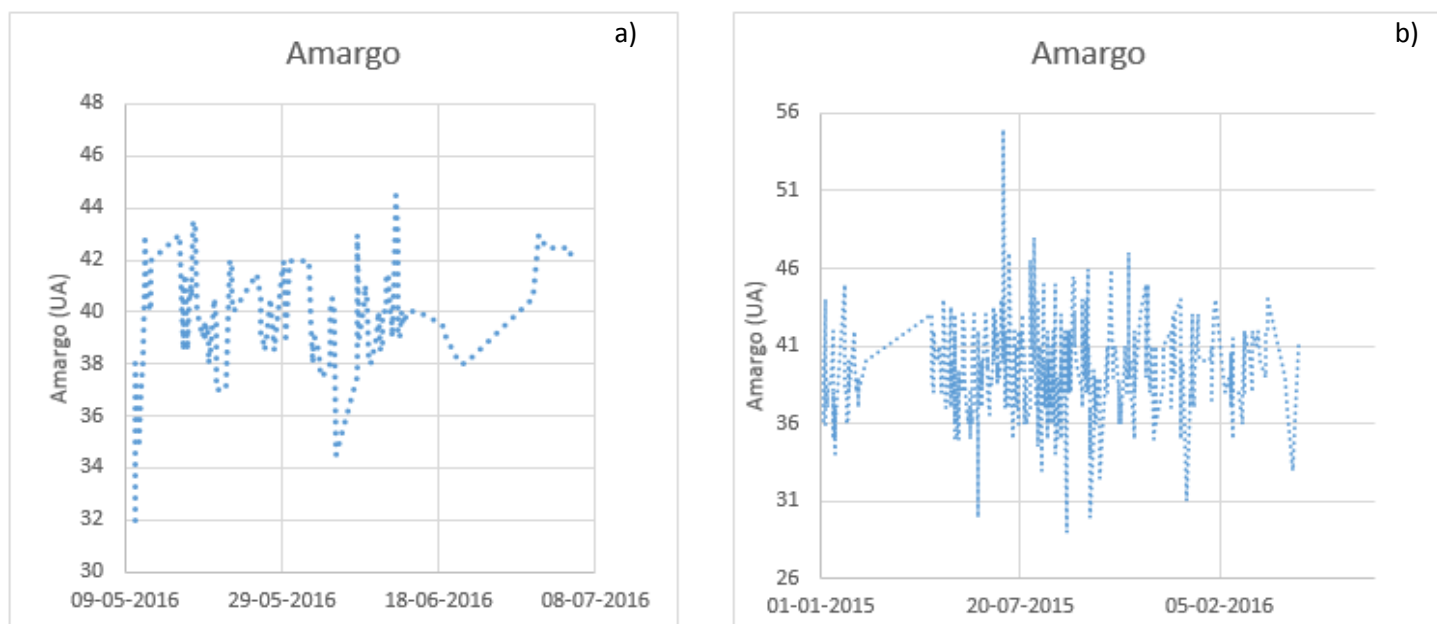


**Figura 3-7 – Valores obtidos para o rendimento de isomerização utilizando a mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget) (a) e utilizando extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus (b).**

Analisando a figura 3-7a) verifica-se um comportamento oscilatório, concordante com o comportamento verificado quando apenas foi utilizado extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus (figura 3-7b)). No entanto, de forma geral o rendimento de isomerização obtido quando se utiliza extrato de lúpulo Magnum-Herkules-Taurus é ligeiramente superior ao rendimento obtido quando é utilizada a mistura 50:50 (p/p %).

Pela análise das figuras 3-7a) e 3-7b), é possível verificar que apesar de em ambas os rendimentos de isomerização se situam entre 40% e 45%, na figura 3-7b) atingem-se com frequência valores superiores a 45%.

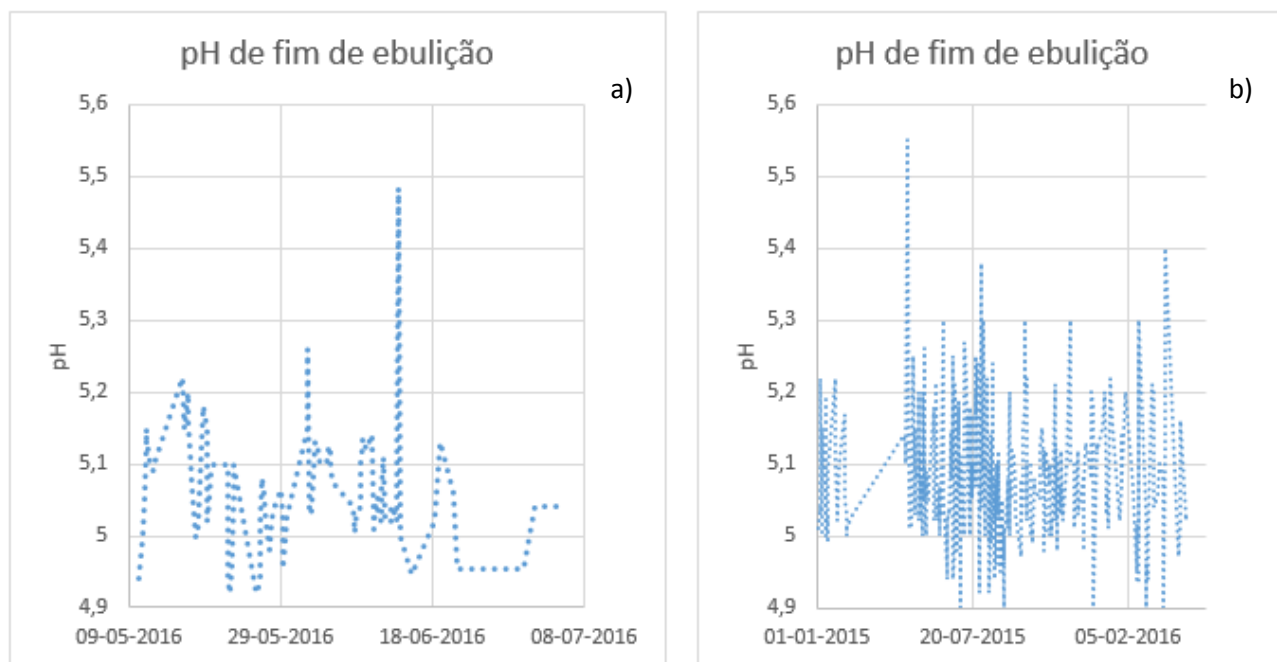
Nas figuras 3-8a) e 3-8b) estão representados os valores obtidos relativos ao amargo no fabrico do mosto, para as duas situações.



**Figura 3-8 – Valores obtidos de amargo utilizando a mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget) a) e extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus b).**

Nas figuras 3-8a) e 3-8b) verifica-se também um comportamento irregular de amargo no mosto, já expectável devido ao comportamento similar do rendimento de isomerização, uma vez que o valor de amargo é influenciado por este. Apesar da oscilação evidente, o valor de amargo na grande maioria dos fabricos não ultrapassa os limites inferior e superior aceitáveis para o mosto, que são 36 e 42 respetivamente.

Nas figuras 3-9a) e 3-9b) estão representados os valores obtidos relativos ao pH de fim de ebulição.



**Figura 3-9 – Valores obtidos de pH de fim de ebulição utilizando a mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget) a) e extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus b).**

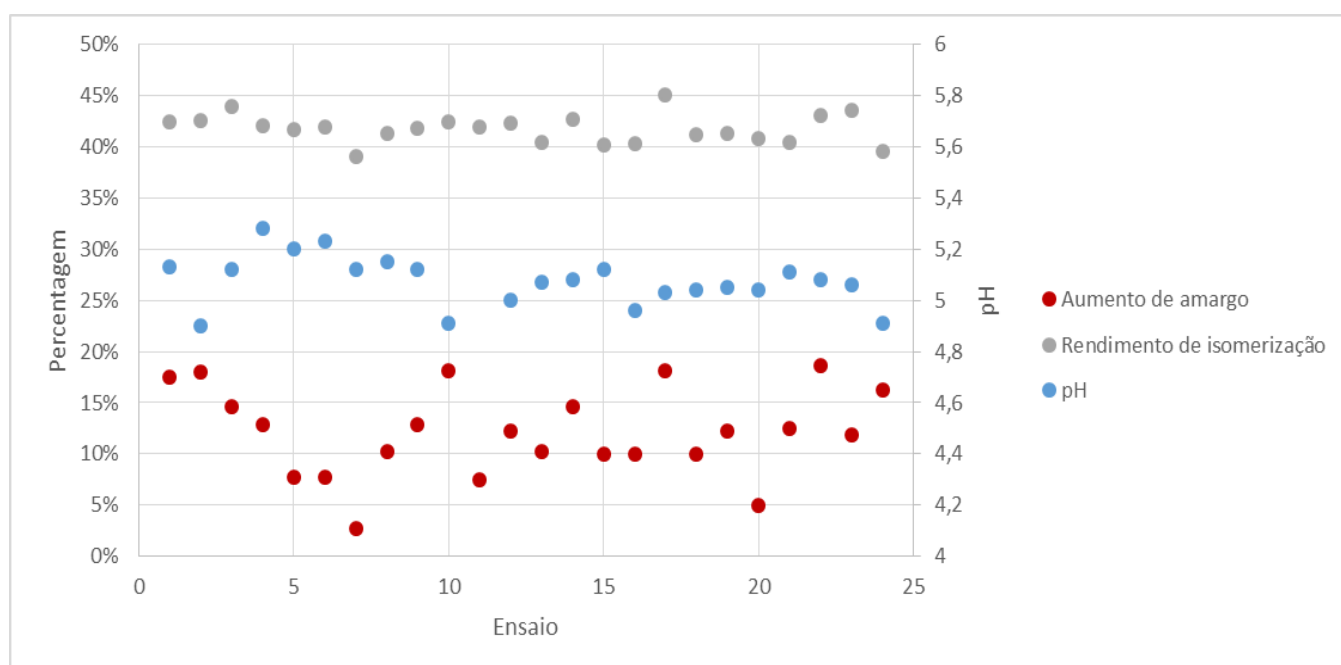
Visualizando as figuras 3-9a) e 3-9b) observa-se que o comportamento do pH em ambos os casos é bastante similar, variando maioritariamente entre 4,9 e 5,3, verificando-se alguns resultados esporádicos de pH que atingem os 5,5. Como referido anteriormente, apesar de teoricamente um pH elevado originar um rendimento de isomerização superior, o mesmo não se verifica na realidade.

Comparando os resultados obtidos no fabrico do mosto de rendimento de isomerização, amargo e pH quando se utiliza extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus (figuras 3-7b), 3-8b) e 3-9b)) com os resultados obtidos quando se utiliza a mistura 50:50 (p/p %) (figuras 3-7a), 3-8a) e 3-9a)), verifica-se que a alteração do tipo de extrato de lúpulo adicionado na etapa de ebulição não beneficia a estabilidade de resultados. É também possível concluir que apesar de não existir diferença significativa entre os dois tipos de lúpulo, utilizando o extrato de lúpulo Magnum-Herkules-Taurus obtém-se valores de rendimento de isomerização ligeiramente superiores.

### 3.1.3 Isomerização de $\alpha$ -ácidos antes e após a decantação

A etapa de decantação tem como objetivo separar o *trouble* (precipitados e lúpulo não dissolvido durante a ebulição) do mosto. Como a transformação dos  $\alpha$ -ácidos em iso- $\alpha$ -ácidos é um processo lento, e o mosto ainda se encontra a temperatura elevada, ainda se verificam reações de isomerização durante esta etapa.

Foi realizado um estudo que consistiu na medição do amargo no final da etapa de ebulição e no final da decantação (após a etapa de arrefecimento de mosto), bem como o pH de fim de ebulição. Na figura 3-10 encontram-se os resultados obtidos do rendimento de isomerização e do pH de fim de ebulição, bem como a percentagem de aumento de amargo entre a etapa de ebulição e de decantação.



**Figura 3-10 – Valores obtidos de rendimento de isomerização, percentagem de aumento de amargo e pH de fim de ebulição.**

Pela análise da figura 3-10 verifica-se um aumento do valor de amargo no mosto, entre a etapa de ebulição e de decantação, o que seria expectável devido às reações de isomerização que continuam a ocorrer, consequência da temperatura elevada a que o mosto ainda se encontra depois da etapa de ebulição. Este aumento de amargo entre a etapa de ebulição e fim de decantação oscila entre 2% e 20%, sendo que normalmente se situa à volta dos 10%. Isto pode-se explicar pelo facto do rendimento de isomerização não ser também constante, pois quando se verificam valores mais baixos deste, a percentagem de aumento de amargo também é baixa, verificando-se o comportamento contrário quando o rendimento de isomerização é mais elevado.

Ainda na figura 3-10 é possível visualizar também os valores de pH de fim de ebulição obtidos. O comportamento deste é bastante oscilatório, variando entre 4,9 e 5,3. Como referido anteriormente, apesar de se esperar que quanto maior for o pH (dentro da gama permitida) maior será o rendimento de isomerização, o mesmo não se verifica nesta situação. Os valores não mostram uma relação evidente entre estes dois parâmetros.

#### 3.1.4 Correção do valor de amargo

A filtração da cerveja é um processo de remoção de partículas suspensas, que podem ser microrganismos como leveduras ou produtos derivados do fabrico do mosto. Deste modo, a cerveja percorre um conjunto de equipamentos, obtendo-se um líquido límpido. O volume de cerveja filtrada é definido por um programa proposto pela linha de enchimento, baseado nas suas necessidades. Durante a filtração é adicionada água de forma a diluir a cerveja, o que provoca a diminuição de amargo, sendo adicionado lúpulo tetra (extrato de lúpulo pré-isomerizado) à cerveja de forma a corrigir o seu valor final. O valor de tetra é adicionado tendo por base uma folha de cálculo para o efeito (anexo A.3).

Este estudo foi realizado com o intuito de verificar o efeito da diluição da cerveja no valor de amargo final e a respetiva importância da adição de tetra.

Na tabela 3-1 estão representados os valores obtidos de amargo e a correspondente adição de tetra para cada TCF de cerveja Super Bock. Cada TCF (tanque de cerveja filtrada) é obtido através da filtração de uma ou várias CC (cilindro-cónicas onde se efetua a fermentação do mosto). Pretende-se que o valor de amargo final na cerveja seja 16.

Tabela 3-1 – Valores obtidos de amargo para cada TCF.

Data	TCF	CC	Volume (hL)	Amargo após diluição (UA)	Tetra (kg)	Amargo obtido (UA)
01-04-2016	6	69	910	14,15	2,0	18
01-04-2016	10	83	300	14,83	3,9	17
		76	550			
02-04-2016	8	83	280	14,83	3,6	18
		76	520			
07-04-2016	17	54	400	12,81	4,2	17
		84	420			
08-04-2016	5	54	280	13,77	4,1	17
		84	160			
		81	100			

08-04-2016	6	81	410	13,67	3,0	17
		55	410			
09-04-2016	3	81	388	13,41	3,9	17
		55	575			
09-04-2016	1	68	790	13,31	4,0	18
10-04-2016	2	68	810	13,29	3,6	17
10-04-2016	15	68	1014	13,29	4,5	17
10-04-2016	18	52	810	13,02	3,9	17
12-04-2016	10	82	450	12,98	4,1	16
		77	420			
12-04-2016	15	82	430	12,43	4,3	17
		77	430			
13-04-2016	3	90	400	15,43	1,3	18
		51	430			
13-04-2016	1	90	533	15,4	1,3	18
		51	350			
13-04-2016	16	66	430	15,8	1,3	18
		72	430			
14-04-2016	10	66	430	15,8	1,3	18
		72	430			
14-04-2016	11	66	430	15,8	1,3	18
		72	430			
14-04-2016	6	80	830	14,98	1,3	17
14-04-2016	3	80	830	14,98	1,3	17
15-04-2016	2	80	856	14,98	1,4	17
15-04-2016	1	80	840	14,19	2,4	18
15-04-2016	7	78	860	14,1	2,7	17
15-04-2016	9	78	845	14,4	1,6	17
16-04-2016	14	86	430	15,05	1,3	18
		75	420			
16-04-2016	17	62	820	14,49	1,4	18
20-04-2016	15	69	867	15,11	1,3	18



21-04-2016	5	70	820	14,29	2,2	17
22-04-2016	9	76	830	14,62	1,6	17
22-04-2016	10	76	548	14,55	1,3	17
		83	320			
22-04-2016	5	57	444	14,82	1,0	17
		54	460			
23-04-2016	15	54	557	14,07	1,5	16
		84	420			
24-04-2016	11	84	490	14,29	1,5	15
		87	300			
24-04-2016	12	84	490	14,29	1,5	16
		87	300			
25-04-2016	1	87	489	13,77	1,8	16
		89	325			
25-04-2016	5	89	810	13,26	2,6	17
26-04-2016	12	89	805	13,78	3,2	16
26-04-2016	14	89	325	14,21	1,7	16
		74	495			
27-04-2016	8	74	800	14,64	1,9	16
27-04-2016	7	74	422	14,63	2,4	17
		63	500			
27-04-2016	11	63	500	13,89	2,8	17
		68	300			
28-04-2016	3	68	890	14,19	2,9	17
28-04-2016	15	68	595	14,18	2,3	17
		64	200			
28-04-2016	5	56	280	13,23	1,6	18
03-05-2016	12	82	850	14,53	1,8	17
04-05-2016	3	77	840	13,3	3,4	16
04-05-2016	15	77	150	14,18	2,3	17
		82	605			
		88	55			
05-05-2016	10	88	55	15,48	1,3	18

		90	600			
		85	260			
06-05-2016	3	85	349	15,35	1,3	18
		88	60			
		80	339			
		58	200			
07-05-2016	11	88	53	14,95	1,3	16
		69	820			
10-05-2016	17	53	440	15,75	0,9	17
		67	430			
12-05-2016	14	76	900	13,77	3,4	16
12-05-2016	18	76	600	14,6	2,3	16
		54	300			
12-05-2016	15	89	759	13,33	2,9	17
12-05-2016	3	89	40	13,94	2,6	16
		84	800			
13-05-2016	10	84	890	13,97	2,8	16
13-05-2016	18	54	200	15,88	1,3	17
		87	660			
14-05-2016	17	39	301	13,92	2,0	17
		74	550			
15-05-2016	7	74	270	14,32	2,0	16
		52	530			
16-05-2016	2	51	410	14,78	2,0	17
		52	410			
16-05-2016	9	51	380	14,3	2,3	17
		52	107			
		63	300			
16-05-2016	6	51	300	14,37	2,4	18
		63	560			
16-05-2016	5	51	310	14,37	2,5	18
		63	530			
16-05-2016	13	63	430	14,38	2,0	18
		59	430			
17-05-2016	12	63	24	14,63	1,9	18
		73	450			
		59	440			
18-05-2016	2	73	309	15,34	1,3	18
		61	720			
18-05-2016	3	61	910	15,48	1,3	17
19-05-2016	17	72	920	15,51	1,3	18
		42	10			

20-05-2016	11	70	500	14,9	1,3	17
		36	503			
20-05-2016	8	70	340	14,83	1,0	19
		30	310			
21-05-2016	4	70	360	14,6	1,3	19
		30	465			
22-05-2016	7	25	850	14,92	1,3	16
23-05-2016	2	25	150	14,92	1,3	17
		26	700			
23-05-2016	1	26	300	13,96	2,5	17
		55	550			
24-05-2016	10	57	850	14,6	1,9	15
24-05-2016	15	57	854	14,6	1,9	17
24-05-2016	2	85	350	14,32	2,9	17
		82	440			
25-05-2016	4	82	855	14,54	2,0	16
25-05-2016	8	85	370	14,31	2,9	17
		82	418			
27-05-2016	14	33	400	10,93	3,7	17
		53	370			
27-05-2016	4	26	170	13,45	2,4	18
		90	100			
		27	350			
27-05-2016	12	33	500	10,68	3,9	16
		53	400			
27-05-2016	17	30	300	14,18	3,0	17
		67	540			
29-05-2016	9	35	350	14,47	1,8	16
		87	450			
29-05-2016	18	35	260	14,64	1,9	16
		87	450			
		29	230			
01-06-2016	4	79	500	15,95	1,3	17
		52	350			
01-06-2016	18	26	250	15,17	1,3	18
		52	290			
		84	310			
02-06-2016	12	84	400	15,27	1,3	17
		73	400			
03-06-2016	4	73	880	14,94	1,5	17
04-06-2016	12	66	531	15,41	1,3	18

		38	362			
		76	100			
<b>04-06-2016</b>	6	76	440	15,01	1,4	17
		36	440			
<b>04-06-2016</b>	1	76	420	15,37	1,3	17
		71	420			
<b>06-06-2016</b>	15	64	430	14,87	1,3	16
		70	430			
<b>07-06-2016</b>	17	64	306	14,99	1,8	16
		70	524			
<b>08-06-2016</b>	11	54	480	15,92	1,3	18
		25	380			
<b>08-06-2016</b>	13	57	680	15,16	1,9	17
		85	200			
<b>10-06-2016</b>	11	63	860	16,17	1,3	18
<b>11-06-2016</b>	2	59	528	14,59	2,4	17
		25	350			
<b>13-06-2016</b>	2	31	280	14,47	2,6	20
		42	155			
		39	370			
<b>14-06-2016</b>	2	26	700	14,59	2,8	17
		35	110			
<b>17-06-2016</b>	8	40	100	12,36	2,7	17
		37	200			
		86	600			
<b>21-06-2016</b>	5	65	500	15,23	2,7	16
		25	250			
<b>21-06-2016</b>	6	26	390	14,39	2,6	16
		65	590			
		34	200			
<b>26-06-2016</b>	13	69	380	15,24	1,3	18
		53	50			
		72	400			
<b>28-06-2016</b>	14	82	594	13,96	2,6	17
		53	50			
		74	105			

O alvo de amargo pretendido corresponde a 16 UA, sendo que o limite deste está fixado entre 14 UA e 18 UA. Analisando a tabela 3-1 verifica-se que uma vez que a adição de água durante a filtração, e os diferentes valores de amargo de cada CC, levam à diminuição do valor final de amargo, é necessário adicionar tetra para o corrigir. Para esse efeito, a quantidade adicionada a cada TCF está compreendida entre 0,9kg e 4,5kg. Apesar de a folha de cálculo (Anexo A.3) estar construída para obter um amargo final na cerveja de 16 UA, pode-se verificar que este valor não é alcançado, situando-

se maioritariamente entre 17 UA e 18 UA. Apenas em três situações o limite superior de amargo foi ultrapassando, levando a que seja efetuada uma correção adicional do mesmo.

Assim, conclui-se que mesmo adicionando a quantidade de tetra necessária, é difícil obter o valor objetivo de amargo na cerveja. No entanto só em casos pontuais o valor de amargo ultrapassa os limites impostos para a comercialização da cerveja.

### 3.2 Análise da cor do mosto

Para a produção de cerveja de elevada qualidade, a qualidade do mosto bem como das matérias-primas são fatores de elevada importância. A coloração da cerveja é diretamente influenciada pelo tipo e pelas características do malte utilizado. Para produzir cerveja Super Bock é utilizado malte *pilsen*, sendo adicionado malte de chocolate (apresenta uma cor bastante mais escura que o malte *pilsen*) para efeitos de correção de cor da cerveja. Quantitativamente, o malte de chocolate representa apenas cerca de 0,5% em relação ao malte *pilsen*, para cada fabrico de cerveja.

Devido ao facto da cor do mosto Super Bock estar a variar significativamente foi realizado um estudo sobre as condições do processo de produção do mosto, nomeadamente a cor dos lotes de malte utilizados, bem como a quantidade de malte de chocolate adicionado. O valor da cor é expresso em EBC (European Brewing Convention), sendo que os limites inferior e superior de EBC para o mosto são de 13 e 16 respetivamente.

Na figura 3-11 estão representados os resultados obtidos, onde a linha azul representa a variação de cor do mosto, a linha verde representa a variação da quantidade de malte de chocolate adicionado (em quilogramas), os traços verticais representam a alteração de lote de malte de chocolate e a linha vermelha representa a alteração de lote de malte *pilsen*.

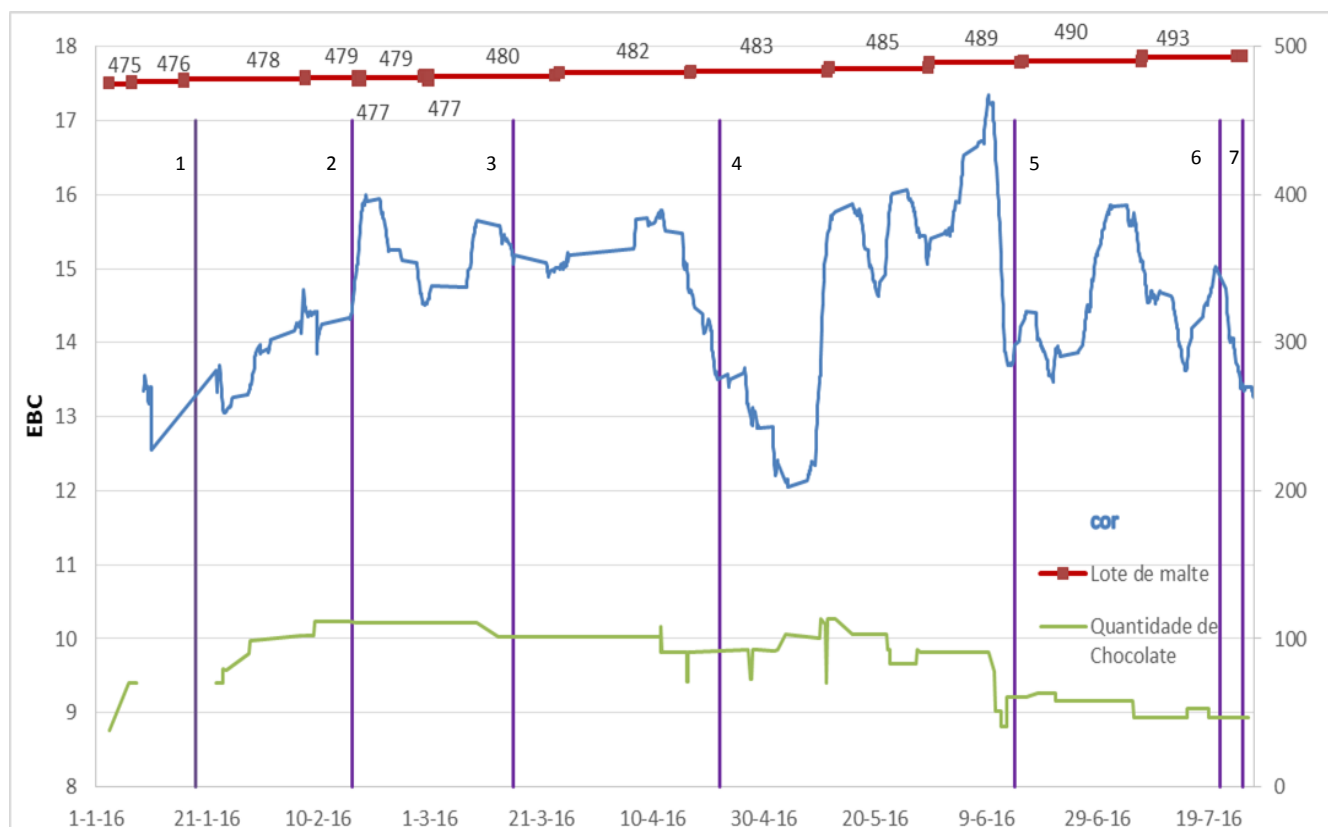


Figura 3-11 – Representação da evolução da cor do mosto ao longo do ano de 2016 bem como a alteração dos diferentes lotes de malte.

Na tabela 3-2 estão representados os valores de cor (EBC) para cada lote de malte *pilsen*. Os lotes de malte de chocolate apresentam todos 1070 EBC.

Tabela 3-2 – Valores de cor para cada lote de malte *pilsen*.

Lote	475	476	477	478	479	480	482	483	485	489	490	493
EBC	4,1	3,6	3,5	3,3	3,4	3,3	3,6	3,6	3,8	3,9	3,7	4,0

Como se pode verificar pela análise da figura 3-11 a cor do lote de malte *pilsen* e a quantidade do malte de chocolate tem influência na cor do mosto. Quando ocorre a alteração, por exemplo, do lote 476 para o lote 478, sucede-se um decréscimo dos valores de EBC do mosto, devido ao facto de o lote 478 apresentar um valor de EBC ligeiramente inferior. Ainda na utilização do mesmo lote (478) verifica-se que quando se aumenta a quantidade de malte de chocolate os valores de EBC aumentam, como seria de esperar, pois o malte de chocolate apresenta um valor de EBC bastante mais elevado. Entre 10-02-2016 e 01-03-2016 existe um uso intercalar entre o lote 479 e o lote 477, verificando-se que quando é utilizado o lote 477 os valores de EBC aumentam, pelo contrário quando é utilizado o lote 479 os valores de EBC diminuem, pois o EBC do lote 477 é superior ao do 479. Quando é utilizado o lote de malte 493, apesar de este apresentar valor de EBC superior ao anterior, o valor de EBC do mosto decresce pois

coincide com uma diminuição da quantidade de malte de chocolate adicionado. É de referir que neste período, apesar das quantidades adicionadas de malte de chocolate serem as mais baixas no global, o valor de EBC do mosto continua elevado.

Verifica-se assim, que o comportamento descrito se aplica a qualquer alteração de lote de malte *pilsen* efetuada, ou seja, quando se altera o lote para um lote que apresenta um valor de EBC inferior, a cor do mosto diminui, verificando-se o inverso se o valor de EBC do malte for superior. Consequentemente, o mesmo se confirma quando é aumentada ou diminuída a quantidade de malte de chocolate adicionada.

Analisando a figura 3-11 pode-se visualizar as linhas verticais roxas que representam o dia de entrega do lote de malte de chocolate, sendo que cada lote é utilizado apenas alguns dias após a entrega. Assim, quando são utilizados os lotes de malte de chocolate 4 e 5, verifica-se que existe um aumento significativo dos valores de EBC do mosto, quando a quantidade de malte de chocolate não é alterada. Este facto sugere que o valor de EBC de malte de chocolate seja superior ao valor de referência, aumentando assim o valor de EBC do mosto para uma mesma quantidade de malte de chocolate.

É possível verificar que a cor do mosto é fortemente influenciada pela cor e quantidade dos maltes adicionados, sendo possível prever um aumento ou diminuição da cor do mosto, de acordo com a cor do lote de malte pilsner a ser usado. O valor de EBC do malte de chocolate é considerado constante para cada lote (1070 EBC). No entanto, os resultados obtidos sugerem que o mesmo pode não se verificar, sendo necessária uma análise prévia, pois apesar de este tipo de malte ser adicionado em quantidade bastante inferior relativamente ao malte *pilsen* (cerca de 0,5%) apresenta bastante influência na cor final do mosto.

### 3.3 Propagação da levedura

As leveduras são microrganismos unicelulares fundamentais no processo de fabrico de cerveja, sendo as responsáveis pela transformação do mosto em cerveja. Durante este processo (fermentação), as leveduras transformam os açúcares simples como a maltose e a glicose, contidos no mosto, e produzem álcool, CO<sub>2</sub> e alguns subprodutos. Estes subprodutos interferem de forma benéfica com o sabor e aroma da cerveja.

A propagação consiste num processo onde é semeada uma cultura pura de levedura numa pequena quantidade de mosto, ocorrendo a sua multiplicação, sendo adicionado

sucessivamente mais mosto ao longo do tempo. A levedura utilizada não deve estar contaminada em nenhuma das fases de propagação, pois pode levar a que a fermentação não seja realizada de forma normal, podendo provocar desvios significativos das características finais da cerveja.

Foi realizado o estudo da propagação de uma levedura CB, específica do mosto referente à cerveja Carlsberg, de forma a averiguar se a taxa de crescimento da levedura correspondia ao esperado. Durante 176 horas foi monitorizado o comportamento da levedura, tendo sido realizada em intervalos de tempo definidos, a contagem de células no mosto. Este processo passou por várias etapas: em primeiro lugar a levedura foi semeada num tanque de propagação (T9) contendo uma quantidade de mosto Carlsberg, onde foi crescendo durante 72 horas; de seguida foi transferida para um tanque de propagação com maior volume (T11), onde permaneceu durante 48 horas. Após o crescimento da levedura nos tanques de propagação, esta foi transferida para uma cuba de fermentação, onde foram adicionados 3 fabricos de mosto Carlsberg (C1, C2, C3), em intervalos de 24 horas. As amostras foram retiradas de 4 horas em 4 horas, durante o tempo de permanência da levedura nos tanques de propagação. Após a sua transferência para as cubas de fermentação, as duas primeiras amostras foram retiradas de 4 horas em 4 horas, e a terceira amostra após 24 horas desde a transferência para a respetiva cuba. Na figura 3-12 encontram-se os resultados obtidos relativos à contagem das células de leveduras.

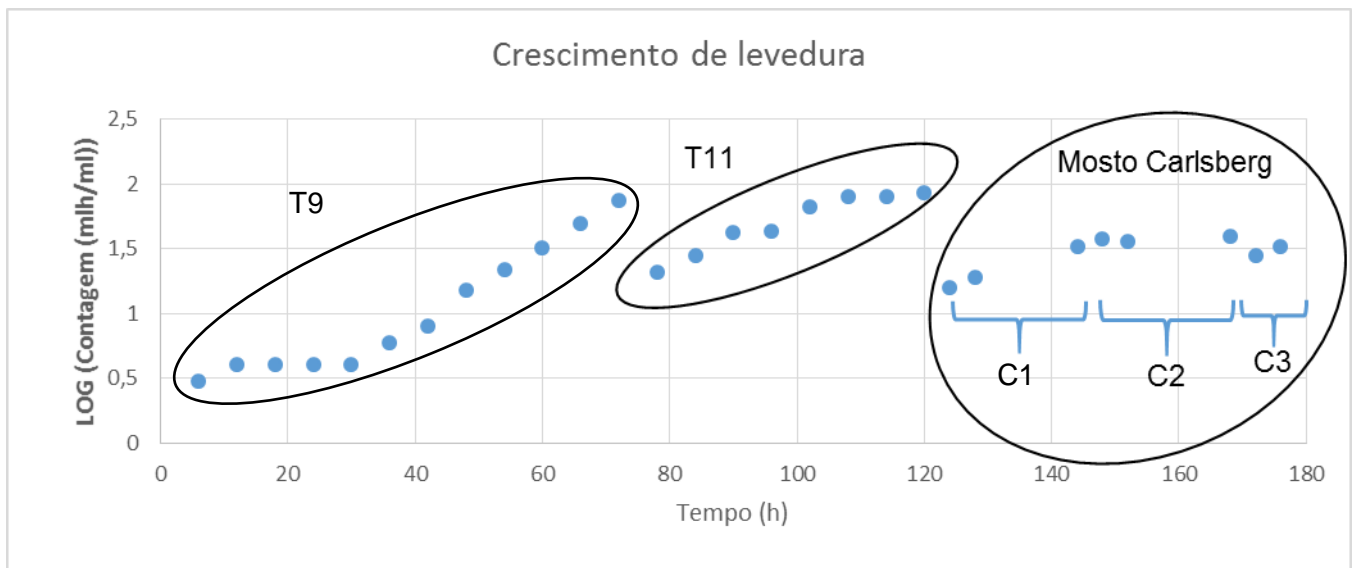


Figura 3-12 – Ciclo de propagação da levedura.

Observando a figura 3-12 verifica-se um aumento gradual das células de levedura durante a fase de propagação. É também possível verificar que, após o início da



propagação, ocorre a fase *lag*, caracterizada pelo aumento pouco significativo de células (até às 30h), onde a levedura se está a adaptar ao meio. Todo o oxigénio do mosto é consumido e a levedura utiliza as suas reservas como fonte de energia, pois não existe praticamente nenhum consumo de açúcares nesta fase. O pH do mosto é também um fator importante, pois o crescimento das leveduras dá-se a um pH entre 4 e 5, sendo que o baixo pH também diminui a possibilidade de microrganismos contaminantes se desenvolverem na cerveja.

De seguida ocorre a fase de crescimento exponencial (entre cerca das 30h e 114h), onde existe um crescimento acelerado e intenso das células de levedura. Uma vez que todo o oxigénio presente no mosto foi consumido anteriormente, o restante processo dá-se em condições anaeróbias, exceto quando é novamente introduzido mosto. Aqui, a levedura produz etanol, CO<sub>2</sub>, e alguns compostos secundários (álcoois aromáticos e ésteres), que mesmo em pequenas quantidades (partes por milhão ou bilião) apresentam influência nas características finais da cerveja, como o aroma.

Na terceira fase, fase estacionária (entre cerca das 148h e 176h), o crescimento das células de levedura torna-se praticamente constante, diminuindo a fermentação. Por fim, quando já não se verifica crescimento celular é terminado o processo.

Como durante todo o processo são adicionados mostos que contêm oxigénio, ocorre a formação de diacetilo, que será consumido maioritariamente pelas leveduras no final do processo.

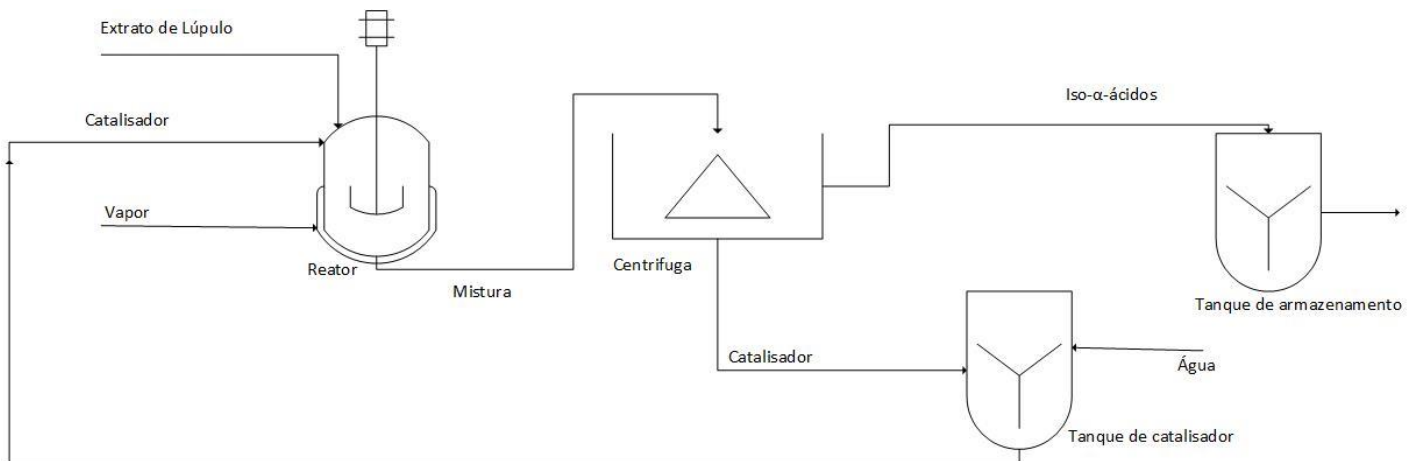
A levedura, após cada ciclo de fermentação, é recolhida e reaproveitada para outros ciclos de fermentação, sendo no máximo reutilizada em 6 ciclos.

Verificou-se que em ambas as fases do processo ocorreu um crescimento gradual de levedura. Inicialmente a taxa de crescimento da levedura foi bastante mais elevada relativamente à fase final, pois nesta fase ocorre a redução do metabolismo da levedura, uma vez que a quantidade de nutrientes disponíveis no meio é bastante inferior à quantidade inicial.

#### 4. Pré- Isomerização dos $\alpha$ -ácidos

Foi desenvolvido, como já referido, um método apresentado na patente US 8710273 B2 de 29/04/2014 [12], que consiste numa isomerização *offline* ou pré-isomerização do extrato de lúpulo, permitindo assim aumentar consideravelmente a taxa de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, diminuindo a quantidade de extrato a utilizar.

O método baseia-se na reação de isomerização do extrato de lúpulo realizada num reator do tipo *batch*, alimentado pelo extrato de lúpulo e pelo catalisador heterogéneo, seguido de uma separação numa centrífuga, o que permite posterior reutilização do catalisador após lavagem com água. A reação de isomerização é realizada durante 18 horas a 90 °C. Na figura 4-1 está representado um esquema do processo.



**Figura 4-1 - Processo de pré-isomerização do lúpulo.**

Esta patente pode ser implementada em empresas em Portugal, a única exceção está no facto de não ser possível comercializar produtos obtidos com o presente método para os Estados Unidos da América. [12]

No decorrer do presente capítulo será realizado um estudo sobre os custos atuais do processo de isomerização, bem como uma análise técnica que envolve o dimensionamento de todas as variáveis do processo e uma análise económica com vista a perceber a viabilidade do projeto.

Todos os cálculos efetuados encontram-se no anexo B.

#### 4.1 Custo atual do lúpulo

Foi realizado um estudo preliminar sobre os custos anuais atuais de extrato de lúpulo (anexo B.1), considerando a quantidade consumida em 2015. Os resultados apresentam-se na tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Representação das quantidades necessárias de lúpulo e o seu custo, relativas ao ano de 2015.

Tipo de cerveja	Alfa-ácidos/Fabricao (kg)	Lúpulo/Fabricao (kg)	Fabricos/Ano	Quantidade lúpulo/Ano (kg)	Custo lúpulo/kg (€)	Custo lúpulo/Tipo mosto/Ano (€)	Custo total lúpulo/Ano (€)
<b>Cristal</b>	7	14,06	282	3963,86	24	95.132,53	929.113,25
<b>Stout</b>	4,6	9,24	66	609,64		14.631,33	
<b>Cheers</b>	18,4	36,95	23	849,80		20.395,18	
<b>Carlsberg</b>	4,2	8,43	116	978,31		23.479,52	
<b>Abadia</b>	2	4,02	8	32,13		771,08	
<b>SBSA</b>	3	6,02	51	307,23		7.373,49	
<b>Super Bock</b>	8,9	17,87	1789	31972,09		767.330,12	

Pela análise da tabela 4-1 verifica-se que o custo total de extrato de lúpulo para o ano de 2015 foi cerca de 930.000,00€. É de referir que o valor apresentado é maioritariamente influenciado pela quantidade de Super Bock produzida. O custo de extrato de lúpulo apresentado foi fornecido pela empresa.

#### 4.2 Quantidade de $\alpha$ -ácidos e catalisador para isomerização offline

Uma vez que o rendimento de isomerização é diferente é necessário proceder-se ao cálculo da nova quantidade de  $\alpha$ -ácidos e catalisador a adicionar.

Na tabela 4-2 são apresentados os valores de  $\alpha$ -ácidos e catalisador necessários para cada fabrico dos diferentes tipos de cerveja produzidos, utilizando o novo rendimento de isomerização. Foi considerado o valor de 85% para o novo rendimento de isomerização (rendimento mais baixo que o apresentado pela patente) pois, uma vez que não existe informação sobre o tipo de extrato de lúpulo utilizado, não se garante que este seja alcançado, prevendo-se assim um rendimento inferior.

Para o cálculo dos valores de  $\alpha$ -ácidos foi utilizada a equação 4.1:

$$Quantidade\ de\ \alpha - \text{ácidos}\ (kg) = \frac{Quantidade\ de\ \alpha - \text{ácidos}\ atual\ (kg) \times Rendimento\ de\ isomerização\ atual\ (\%)}{Rendimento\ de\ isomerização\ offline\ (\%)} \quad (4.1)$$

Para o cálculo da massa de catalisador foi utilizado o rácio  $\alpha$ -ácidos/catalisador presente na tabela B-2, Anexo B.

Tabela 4-2 – Quantidade de  $\alpha$ -ácidos e catalisador necessários para cada fabrico.

Tipo	$\alpha$ -ácidos (kg)	Catalisador (kg)
<b>Cristal</b>	3,54	0,25
<b>Stout</b>	2,33	0,16
<b>Cheers</b>	9,31	0,65
<b>Carlsberg</b>	2,12	0,15
<b>Abadia</b>	1,01	0,07
<b>SBSA</b>	1,52	0,11
<b>Super Bock</b>	4,50	0,31

Após o cálculo da quantidade de  $\alpha$ -ácidos e catalisador necessários para cada fabrico, calculou-se a quantidade necessária dos mesmos para um *batch*. Admite-se que um *batch* corresponde a um total de onze fabricos de mosto, onde está contemplado o tempo de reação de isomerização, o tempo de entrada e saída da mistura do reator, bem como uma margem de segurança para eventuais flutuações de processo, durando na totalidade cerca de 22 horas. Os resultados são apresentados na tabela 4-3.

Tabela 4-3 - Quantidade de  $\alpha$ -ácidos e catalisador necessários para cada *batch*.

Tipo	$\alpha$ -ácidos (kg)	Catalisador (kg)
<b>Cristal</b>	38,95	2,72
<b>Stout</b>	25,60	1,79
<b>Cheers</b>	102,39	7,14
<b>Carlsberg</b>	23,37	1,63
<b>Abadia</b>	11,13	0,78
<b>SBSA</b>	16,69	1,13
<b>Super bock</b>	49,53	3,45

Através do cálculo da quantidade de  $\alpha$ -ácidos para cada *batch* (tabela 4-3) foi possível obter a quantidade de extrato de lúpulo a introduzir, sendo de 99,45 kg. Este valor foi obtido através da quantidade de  $\alpha$ -ácidos necessária para a produção de 1 *batch* de

Super Bock e a respetiva percentagem de  $\alpha$ -ácidos presentes no lúpulo (49,8%) e teve por base a equação 4.2:

$$\text{Quantidade de lúpulo } \left( \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \right) = \frac{\text{Quantidade de } \alpha\text{-ácidos } \left( \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \right)}{\% \text{ de } \alpha\text{-ácidos no extrato de lúpulo}} \quad (4.2)$$

Foi considerado este pressuposto devido à dificuldade de previsão de fabricos, ou seja, um *batch* corresponde a 11 fabricos, que poderão ser todos de Super Bock (o numero de fabricos anuais de Super Bock é bastante mais elevado que os fabricos de outros tipos de cerveja), ou pelo contrário ser um *batch* com 2 ou mais diferentes tipos de fabricos. Como a quantidade de  $\alpha$ -ácidos necessária para a produção de Super Bock é mais elevada que os restantes tipos de cerveja, exceto para a Cheers onde a quantidade é superior, e como a produção desta cerveja é reduzida (tabela 4-1) é garantida sempre a existência de  $\alpha$ -ácidos isomerizados para adicionar ao processo.

### 4.3 Produção de catalisador

De forma a produzir o catalisador são necessários três reagentes cujas quantidades se encontram na tabela 4-4. O processo de produção está descrito no anexo B.4, todos os cálculos inerentes estão descritos no anexo B.2.

Tabela 4-4 – Quantidade de reagentes necessários anualmente.

Reagentes	Quantidade/Ano (kg)	Custo/ano (€)
Nitrato de bário anidro	76,2	5.394,96 €
Álcool polivinil	38,5	9.798,25 €
Nitrato de alumínio	218,6	14.725,80 €

A quantidade de catalisador que é necessário produzir anualmente foi calculada dependendo dos diferentes tipos de cerveja produzida, como se pode verificar na tabela 4-5.

Tabela 4-5 – Quantidade de catalisador por diferente tipo de cerveja

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade de catalisador/Ano (kg)</b>
<b>Cristal</b>	69,65
<b>Stout</b>	10,71
<b>Cheers</b>	14,93
<b>Carlsberg</b>	17,19
<b>Abadia</b>	0,56
<b>SBSA</b>	5,40
<b>Super bock</b>	561,82
<b>Total kg/ano</b>	680,27
<b>Considerando reciclagem (kg)</b>	68,03

Após análise da tabela 4-5 conclui-se que é necessário produzir 680kg anuais de catalisador, no entanto, uma vez que o catalisador é facilmente reciclável sem perder as suas características, considerou-se uma taxa de utilização de 10% (englobam perdas de rendimento de isomerização e perdas de massa nas lavagens de catalisador), sendo então a quantidade final necessária de catalisador de 68kg. A quantidade de catalisador a produzir foi calculada utilizando uma base anual, devido à imprevisibilidade de produção por tipo de fabrico.

Para a produção de catalisador por *batch* considerou-se a cerveja Super Bock como base de referência, uma vez que é a cerveja que se produz em maior quantidade, e apenas na cerveja Cheers é utilizada uma quantidade superior de catalisador (tabela 4-2). Ou seja, como a cerveja Cheers é produzida numa quantidade bastante reduzida em comparação com a cerveja Super Bock (tabela 4-1), é sempre garantida a quantidade de catalisador disponível.

Assim, como referido anteriormente, devido à imprevisibilidade de produção de cerveja, quer em quantidade quer por tipo, considerou-se que as 212 partidas que é necessário produzir anualmente (tabela B-3 anexos) seriam distribuídas de forma igual, mensalmente. É necessário produzir mensalmente uma quantidade de catalisador correspondente a 18 partidas. Os valores obtidos para o esquema de produção anual de catalisador encontram-se na tabela 4-6. O catalisador será produzido até ao final do mês anterior à sua utilização.

Tabela 4-6 – Produção anual de catalisador.

	Produção de catalisador (kg)	Nº Batch
Dezembro	6,2	18
Janeiro	6,2	18
Fevereiro	6,2	18
Março	6,2	18
Abril	6,2	18
Maio	6,2	18
Junho	6,2	18
Julho	6,2	18
Agosto	6,2	18
Setembro	6,2	18
Outubro	6,2	18
Novembro	6,2	18
<b>Total</b>	<b>74,4</b>	<b>216</b>

Como se pode ver pela tabela 4-6 é necessário produzir 6,2kg de catalisador mensalmente. A quantidade de catalisador produzido anualmente (74kg) é superior à quantidade necessária (68kg), devido ao arredondamento de partidas por mês.

#### 4.4 Custo do processo de pré-isomerização

Após realizados todos os cálculos relativos aos custos associados à aplicação do método da isomerização offline (anexo B.3), os resultados são apresentados na tabela 4-7.

Tabela 4-7 – Custo de implementação do processo de pré-isomerização.

Tipo	Quantidade de a-ácidos necessários	Custo total de lúpulo (€)	Custo catalisador /Ano (€)	Custo energia/Ano (€)	Custo equipamentos (€)	Custo total/Ano (€)	Custo total + custo de equipamentos (ano 0) (€)
Cristal	3,27	470.022,00	29.948,71	1.887,20	16.500,00	501.842,71	518.342,71
Stout	2,15						
Cheers	8,59						
Carlsberg	1,96						
Abadia	0,93						
SBSA	1,40						
Super bock	4,16						

Após a análise da tabela 4-7 verifica-se que existe uma redução substancial do custo do processo de isomerização quando implementado o método de isomerização offline. Comparando o custo de ambos os processos (tabelas 4-1 e 4-7), o valor é reduzido quase para metade, devido à grande diferença de rendimentos de isomerização. Apesar de o processo apresentado na patente implicar o investimento inicial de equipamentos (cerca de 16.500,00€), e o custo energético à sua utilização (cerca 1.887,20€) este revela-se um método bastante mais económico.

Com a utilização da isomerização offline é possível economizar 46% dos custos atuais do processo de isomerização, passando de 930.000,00€ para 502.000,00€. Considerando o ano de investimento como ano 0, o valor economizado é muito similar face ao valor para os anos seguinte, fixando-se nos 44%.

É possível concluir que a implementação da pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos revela-se um método bastante eficaz, sendo possível economizar anualmente 46% face aos custos atuais. Apesar de ser necessário um investimento inicial em equipamentos, não se verifica grande diferença no final do ano de investimento em relação aos anos seguintes, obtendo-se um valor de 44%.

O extrato de lúpulo utilizado será o extrato utilizado atualmente na empresa (Magnum-Herkules-Taurus). O extrato pré-isomerizado será adicionado ao processo antes do final da etapa de ebulição.

Apesar de o método se revelar bastante vantajoso a nível económico, o mesmo não se poderá garantir relativamente às características finais da cerveja. Apesar de se adicionar a quantidade de amargo necessária, as restantes características, como por exemplo o sabor e aroma poderão sofrer alguma influência, pelo que será necessária uma avaliação prévia.



## 4.5 Instalação

Na figura 4-2 encontra-se representado o esquema de instrumentação e controlo do processo.

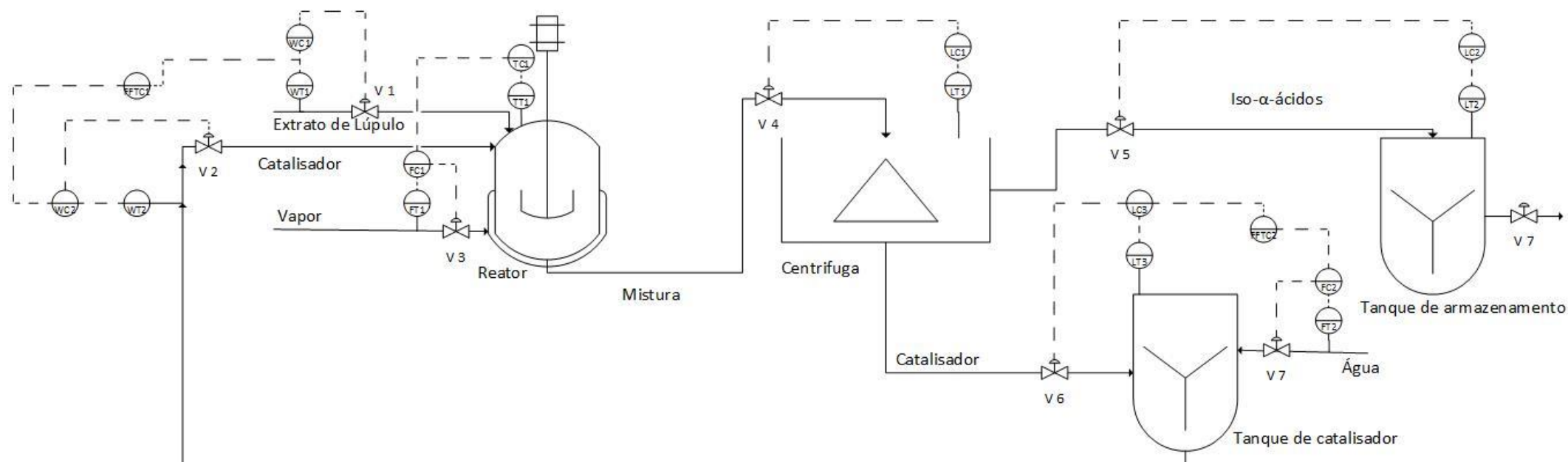


Figura 4 2 – Diagrama da instalação para a produção de iso- $\alpha$ -ácidos.

No sistema de controlo do reator na figura 4-2 a quantidade de catalisador a introduzir no reator é controlada pelo sistema de antecipação-retroação, sendo função da quantidade de extrato de lúpulo introduzido. O controlo em cascata está relacionado com a quantidade de vapor a alimentar ao reator, sendo função da temperatura no interior do reator. O controlo por antecipação-retroação será também implementado no reservatório do catalisador, onde a quantidade de água de lavagem a introduzir no tanque será função da quantidade de catalisador presente. Nos restantes equipamentos apenas existe controlo de nível.

O reator presente na figura 4-2 será aquecido utilizando vapor como fonte de energia, consumindo energia elétrica para a agitação. De forma a atingir a temperatura pretendida serão necessários 3,1 kg de vapor por *batch*, este vapor será proveniente da etapa de ebulição estando disponível a 1 bar. De forma a compensar as perdas térmicas durante a reação de isomerização é necessário alimentar o reator com um caudal de vapor correspondente a  $0,02 \frac{kg}{h}$ . Relativamente à área de transferência de calor na camisa de aquecimento do reator estima-se que seja de  $0,08 m^2$ . Após a separação da mistura, os iso- $\alpha$ -ácidos serão introduzidos no final da etapa de ebulição. O catalisador reciclado será encaminhado para o tanque de armazenamento, onde será lavado com uma quantidade de água equivalente a 400% da quantidade de catalisador, sendo posteriormente introduzido no reator para nova isomerização. Este conjunto de equipamentos será instalado no piso inferior do fabrico.



## 5. Conclusão

Este trabalho foi desenvolvido na empresa UNICER, tendo como objetivo o estudo da isomerização do lúpulo, com o intuito de maximizar a obtenção de iso- $\alpha$ -ácidos e minimizar a discrepância de valores de amargo entre fabricos de cerveja. Estudou-se a implementação de uma alteração ao processo atual, com o objetivo de aumentar consideravelmente a taxa de isomerização dos  $\alpha$ -ácidos, diminuindo assim a quantidade e custo de extrato de lúpulo a adicionar ao processo. Realizou-se também um estudo sobre a influência na cor da cerveja dos maltes utilizados para a sua produção e ainda um estudo sobre a propagação de levedura.

A cerveja é uma bebida obtida por fermentação alcoólica de um mosto preparado com malte e cereais não maltados, água e lúpulo. O lúpulo, adicionado na etapa de ebulição, contém  $\alpha$ -ácidos, que após isomerizados dão origem a iso- $\alpha$ -ácidos, que conferem à cerveja o seu sabor amargo.

Após o levantamento do histórico de valores da produção de cerveja Super Bock desde o início do ano 2015 verificou-se que apesar de ser esperado que um pH mais elevado origine valores de amargo superiores, não se confirma esta situação na realidade, tornando-se difícil o controlo do rendimento de isomerização através do controlo do valor de pH. Verifica-se também que o valor de amargo e o rendimento de isomerização apresentam um comportamento similar, o que seria de prever pois o valor de amargo é dependente da taxa de isomerização do extrato de lúpulo.

Relativamente ao estudo sobre a importância do tipo de lúpulo adicionado ao processo verificou-se que não existe grande discrepância entre os resultados quando se adiciona a mistura de extrato de lúpulo 50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget, em substituição do extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus. A alteração do tipo de lúpulo também não beneficia a estabilidade dos resultados, sendo evidente uma oscilação imprevisível das características finais do mosto, em ambos os casos. Conclui-se também que apesar de não se verificarem diferenças significativas, utilizando apenas o extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus obtêm-se valores para o rendimento de isomerização ligeiramente superiores.

Foram realizados ensaios que consistiram na medição de amargo e de pH no final da etapa de ebulição e no final da decantação, com vista a verificar a ocorrência de reações de isomerização na etapa de decantação. Verificou-se, conforme esperado, um aumento do valor de amargo no mosto, entre a etapa de ebulição e de decantação, pois

as elevadas temperaturas que ainda se verificam na decantação levam à continuidade das reações de isomerização.

Após a filtração da cerveja, devido ao efeito da diluição na mesma, o valor de amargo diminui sendo necessária a sua correção, adicionando tetra (extrato de lúpulo isomerizado). Conclui-se que a quantidade de tetra a adicionar está compreendida entre 0,9kg e 4,5kg. No entanto, mesmo adicionando a quantidade de tetra prevista como necessária, é difícil obter o valor objetivo de amargo na cerveja.

Foi realizado um estudo sobre as condições do processo de produção do mosto desde o início do ano 2016 motivado pelo facto da cor do mosto Super Bock estar a variar significativamente. Conclui-se que a cor do mosto é fortemente influenciada pela cor e quantidade dos maltes adicionados. A cor dos vários lotes de malte de chocolate foi considerada constante (1070 EBC) no entanto, os resultados obtidos sugerem que o mesmo pode não se verificar, sendo recomendada uma análise prévia da sua cor, pois mesmo sendo adicionado em quantidade bastante inferior ao malte *pilsen* (cerca de 0,5%) apresenta influência evidente na cor final do mosto.

Efetuu-se um ensaio de propagação de levedura CB, específica do mosto da cerveja Carlsberg, de forma a averiguar se a taxa de crescimento da levedura correspondia ao esperado. Verificou-se que em ambas as fases do processo ocorreu um crescimento gradual de levedura, sendo que inicialmente a taxa de crescimento foi bastante mais elevada relativamente à fase final, pois ocorre uma redução do metabolismo da levedura.

A pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos revelou-se um método mais económico relativamente à isomerização atual. Contabilizando todos os custos inerentes ao processo é possível economizar cerca de 46% anualmente. Apesar de existir um custo de investimento inicial, não se verifica diferença significativa no final do ano de investimento, obtendo-se um valor de 44%.

No entanto, apesar de ser um método bastante vantajoso a nível económico, é necessário garantir que este não afeta a qualidade das restantes características da cerveja.

## 6. Bibliografia

- [1] [www.unicer.pt](http://www.unicer.pt) (acedido a 12 de Março de 2016)
- [2] Kunze, Wolfgang, 2004. Technology brewing and malting, VLB.
- [3] Verzele, M, De Keukeleire, D, 1991. Chemistry and analysis of hop and beer bitter acids.
- [4] Steenackers, Bart, De Cooman, Luc, De Vos, Dirk, 2014. Chemical transformations of characteristic hop secondary metabolites in relation to beer properties and the brewing process: A review.
- [5] Caballero, Isabel, A. Blanco, Carlos, Porras, Maria, 2012. Iso- $\alpha$ -acids, bitterness and loss of beer quality during storage.
- [6] Denk, Viktor, et al, 2000. Wort boiling and clarification. Reichardt-Druck GmbH.
- [7] Jaskula, Barbara, et al, 2010. Potential impact of medium characteristics on the isomerisation of hop  $\alpha$ -acids in wort and buffer model systems.
- [8] Isomerized pellets, Iso-pellets type 90 and type 45, Hopsteiner.
- [9] IKE (Isomerized Kettle Extract), BARTH-HAAS GROUP.
- [10] Potassium-form isomerized kettle extract, Hopsteiner.
- [11] Production of light stable beers on a commercial scale, 2007, Raw material, Brauwelt Internacional
- [12] Luc De Cooman, De Pinte, et al, 29 de Abril de 2014, Method for isomerization of hop  $\alpha$ -acids using heterogeneous alkaline earth metal based catalyst, Patente número US 8710273 B2.
- [13] Handbook of Brewing, Process, Technology, Markets, Hans Michael Eßlinger, 2007
- [14] <http://www.barthhaasgroup.com/images/downloads/pdfs/products/666/co2-hop-extract-technical-specification.pdf> (acedido a 27 de Setembro de 2016)
- [15] <http://www.hopsteiner.com/variety-data-sheets/Nugget/> (acedido a 27 de Setembro de 2016)
- [16] <http://www.acros.com/> (acedido a 18 de Agosto)
- [17] <http://www.steelskills.pt/> (acedido a 18 de Agosto)

- [18] Digital Factory, Process Industries and Drives, Tabela de preços 2016, SIEMENS.
- [19] <http://www.cool-hopextract-dosing.com/index.php?id=39&L=1> (Acedido a 1 de Setembro de 2016)
- [20] Sinnott, R K, 2005, Chemical Engineering Design, Fourth Edition, Volume 6, Elsevier.
- [21] ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal Continental, 2016.

# Anexos





## Anexo A – Histórico de valores obtidos

### A.1 – Análise dos valores de amargo no fabrico

Na tabela A-1 estão presentes os valores relativos à construção gráfica representada no subcapítulo 3.1.1.

O rendimento de isomerização foi calculado conforme a equação a.1:

$$\text{Rendimento de isomerização (\%)} = \frac{\text{Amargo (UA)} \times \text{Volume do fabrico (hL)} \times 100}{\text{Quantidade de } \alpha\text{-ácidos} \times 1000} \times 100 \quad (\text{a.1})$$

Tabela A-1 - Valores obtidos das características da Super Bock relativos ao ano 2015 e 2016.

Fabrico	Data	Volume (hL)	Amargo (UA)	$\alpha$ -ácidos (g)	Rendimento de isomerização (%)	pH Início de Ebulição	pH Fim de Ebulição
0007	03-01-2015	888,0	40,0	8366,4	42,5%	5,19	5,01
0011	03-01-2015	905,0	36,0	8366,4	38,9%	5,17	5,04
0027	05-01-2015	924,0	44,0	8366,4	48,6%	5,32	5,03
0029	05-01-2015	930,0	37,0	8366,4	41,1%	5,40	5,22
0035	06-01-2015	915,0	42,0	8366,4	45,9%	5,26	5,00
0037	06-01-2015	923,0	40,0	8366,4	44,1%	5,28	5,06
0039	06-01-2015	927,0	37,0	8366,4	41,0%	5,34	5,15
0049	11-01-2015	949,0	39,0	8366,4	44,2%	5,29	5,00
0059	12-01-2015	928,0	37,0	8366,4	41,0%	5,40	5,19
0064	13-01-2015	909,0	35,0	8366,4	38,0%	5,31	5,00
0068	13-01-2015	912,0	36,0	8366,4	39,2%	5,30	5,03
0079	14-01-2015	918,0	34,0	8366,4	37,3%	5,22	4,99
0086	15-01-2015	917,0	37,0	8366,4	40,6%	5,28	5,02
0090	15-01-2015	907,0	35,0	8366,4	37,9%	5,24	5,05
0092	15-01-2015	939,0	36,0	8366,4	40,4%	5,24	5,09
0120	24-01-2015	788,0	45,0	8366,4	42,4%	5,40	5,22
0127	25-01-2015	924,0	38,0	8366,4	42,0%	5,30	5,10
0132	26-01-2015	913,0	38,0	8366,4	41,5%	5,33	5,03
0150	27-01-2015	919,0	36,0	8366,4	39,5%	5,29	5,02
0156	28-01-2015	951,0	38,0	8366,4	43,2%	5,28	5,10
0157	28-01-2015	952,0	39,0	8366,4	44,4%	5,32	5,10
0182	02-02-2015	724,0	42,0	8366,4	36,3%	5,29	5,15
0198	04-02-2015	963,0	38,0	8366,4	43,7%	5,33	5,17
0201	06-02-2015	808,0	39,0	8366,4	37,7%	5,18	5,05
0203	06-02-2015	938,0	39,0	8366,4	43,7%	5,20	5,03
0207	07-02-2015	961,0	37,0	8366,4	42,5%	5,23	5,03
0211	07-02-2015	945,0	38,0	8366,4	42,9%	5,23	5,00

Estudo da isomerização do lúpulo

<b>0217</b>	08-02-2015	953,0	38,0	8366,4	43,3%	5,27	5,01
<b>0226</b>	15-02-2015	942,0	40,0	8366,4	45,0%	5,30	5,03
<b>0687</b>	23-04-2015	890,0	38,0	8366,4	40,4%	5,41	5,14
<b>0704</b>	24-04-2015	923,0	42,0	8366,4	46,3%	5,35	5,13
<b>0706</b>	25-04-2015	926,0	40,0	8366,4	44,3%	5,32	5,10
<b>0727</b>	28-04-2015	923,0	40,0	8366,4	44,1%	5,67	5,55
<b>0743</b>	29-04-2015	937,0	41,0	8366,4	45,9%	5,30	5,01
<b>0753</b>	30-04-2015	892,0	38,0	8366,4	40,5%	5,28	5,01
<b>0761</b>	03-05-2015	872,0	41,0	8366,4	42,7%	5,90	5,25
<b>0780</b>	05-05-2015	898,0	41,0	8366,4	44,0%	5,39	5,09
<b>0785</b>	06-05-2015	932,0	39,0	8366,4	43,4%	5,45	5,15
<b>0789</b>	06-05-2015	932,0	37,0	8366,4	41,2%	5,26	5,11
<b>0791</b>	06-05-2015	937,0	37,0	8366,4	41,4%	5,27	5,03
<b>0797</b>	07-05-2015	927,0	38,0	8366,4	42,1%	5,31	5,09
<b>0800</b>	07-05-2015	929,0	38,0	8366,4	42,2%	5,33	5,09
<b>0815</b>	10-05-2015	915,0	43,5	8366,4	47,6%	5,35	5,08
<b>0817</b>	11-05-2015	949,0	39,0	8366,4	44,2%	5,32	5,12
<b>0820</b>	11-05-2015	942,0	40,0	8366,4	45,0%	5,23	5,20
<b>0828</b>	12-05-2015	945,0	37,0	8017,8	43,6%	5,39	5,02
<b>0838</b>	14-05-2015	834,0	42,0	8017,8	43,7%	5,27	5,12
<b>0840</b>	15-05-2015	894,0	36,0	8017,8	40,1%	5,30	5,05
<b>0844</b>	15-05-2015	914,0	43,0	8017,8	49,0%	5,29	5,08
<b>0849</b>	15-05-2015	934,0	35,0	8017,8	40,8%	5,33	5,00
<b>0866</b>	17-05-2015	948,0	35,0	8017,8	41,4%	5,34	5,20
<b>0872</b>	18-05-2015	889,0	39,0	8017,8	43,2%	5,28	5,05
<b>0875</b>	18-05-2015	854,0	40,0	8017,8	42,6%	5,30	5,07
<b>0876</b>	18-05-2015	887,0	39,0	8017,8	43,1%	5,27	5,05
<b>0877</b>	18-05-2015	887,0	38,0	8017,8	42,0%	5,29	5,06
<b>0882</b>	19-05-2015	895,0	35,0	8017,8	39,1%	5,39	5,26
<b>0890</b>	20-05-2015	880,0	39,0	8017,8	42,8%	5,37	5,04
<b>0894</b>	20-05-2015	880,0	39,0	8017,8	42,8%	5,29	5,00
<b>0914</b>	22-05-2015	902,0	43,0	8017,8	48,4%	5,33	5,09
<b>0916</b>	24-05-2015	770,0	42,0	8017,8	40,3%	5,20	5,05
<b>0920</b>	24-05-2015	896,0	39,0	8017,8	43,6%	5,30	5,05
<b>0939</b>	26-05-2015	905,0	37,0	8017,8	41,8%	5,32	5,10
<b>0958</b>	30-05-2015	932,0	36,0	8017,8	41,8%	5,27	5,18
<b>0972</b>	31-05-2015	948,0	37,0	8017,8	43,7%	5,29	5,03
<b>0978</b>	01-06-2015	943,0	39,0	8017,8	45,9%	5,38	5,02
<b>0981</b>	01-06-2015	893,0	41,0	8017,8	45,7%	5,33	5,03
<b>0984</b>	03-06-2015	783,0	45,0	8017,8	43,9%	5,44	5,40
<b>1002</b>	05-06-2015	918,0	38,0	8017,8	43,5%	5,33	5,03
<b>1004</b>	05-06-2015	921,0	37,0	8017,8	42,5%	5,35	5,02
<b>1014</b>	07-06-2015	872,0	36,0	8017,8	39,2%	5,46	5,07
<b>1018</b>	07-06-2015	900,0	30,0	8017,8	33,7%	5,39	5,00
<b>1020</b>	07-06-2015	882,0	38,0	8017,8	41,8%	5,40	5,04

1026	08-06-2015	907,0	42,0	8017,8	47,5%	5,25	5,00
1028	08-06-2015	942,0	37,0	8017,8	43,5%	5,31	5,03
1033	09-06-2015	958,0	39,0	8017,8	46,6%	5,30	5,03
1042	10-06-2015	936,0	39,0	8017,8	45,5%	5,32	5,09
1044	10-06-2015	895,0	38,0	8017,8	42,4%	5,37	5,07
1051	11-06-2015	902,0	37,0	8017,8	41,6%	5,33	5,09
1053	11-06-2015	908,0	40,0	8017,8	45,3%	5,36	5,10
1057	11-06-2015	891,0	40,0	8017,8	44,5%	5,32	5,30
1059	11-06-2015	878,0	37,0	8017,8	40,5%	5,39	5,05
1095	16-06-2015	876,0	40,0	8017,8	43,7%	5,24	4,95
1096	17-06-2015	896,0	39,0	8017,8	43,6%	5,27	4,98
1097	17-06-2015	900,0	40,6	8017,8	45,6%	5,25	5,05
1098	17-06-2015	863,0	40,0	8017,8	43,1%	5,22	5,00
1101	17-06-2015	887,0	40,0	8017,8	44,3%	5,27	4,94
1103	17-06-2015	906,0	38,0	8017,8	42,9%	5,37	5,02
1113	18-06-2015	895,0	35,0	8017,8	39,1%	5,36	5,05
1115	18-06-2015	896,0	39,0	8017,8	43,6%	5,32	5,03
1120	21-06-2015	867,0	38,0	8017,8	41,1%	5,44	5,26
1126	22-06-2015	913,0	43,5	8017,8	49,5%	5,30	5,08
1151	25-06-2015	929,0	43,0	8017,8	49,8%	5,40	5,20
1152	25-06-2015	948,0	42,0	8017,8	49,7%	5,55	5,30
1154	25-06-2015	938,0	41,0	8017,8	48,0%	5,36	5,23
1159	25-06-2015	865,0	41,0	8017,8	44,2%	5,22	4,94
1160	26-06-2015	917,0	41,0	8017,8	46,9%	5,31	5,03
1163	26-06-2015	898,0	38,0	8017,8	42,6%	5,20	5,06
1168	26-06-2015	872,0	42,0	8017,8	45,7%	5,30	5,14
1174	27-06-2015	896,0	38,0	8017,8	42,5%	5,39	5,21
1193	29-06-2015	949,0	39,0	8017,8	46,2%	5,15	4,98
1205	30-06-2015	881,0	40,0	8017,8	44,0%	5,39	5,18
1212	01-07-2015	870,0	44,0	8017,8	47,7%	5,33	5,14
1213	01-07-2015	883,0	41,0	8017,8	45,2%	5,33	5,24
1219	02-07-2015	935,0	40,0	8017,8	46,6%	5,33	5,12
1227	03-07-2015	911,0	55,0	8017,8	62,5%	5,36	5,14
1237	03-07-2015	937,0	39,0	8017,8	45,6%	5,35	4,99
1239	04-07-2015	904,0	39,0	8017,8	44,0%	5,28	4,90
1243	04-07-2015	906,0	37,0	8017,8	41,8%	5,30	5,04
1247	04-07-2015	894,0	39,0	8017,8	43,5%	5,33	5,05
1251	05-07-2015	895,0	39,0	8017,8	43,5%	5,30	5,09
1253	05-07-2015	884,0	42,0	8017,8	46,3%	5,43	5,11
1275	08-07-2015	933,0	37,0	8017,8	43,1%	5,37	5,00
1277	08-07-2015	933,0	38,0	8017,8	44,2%	5,30	5,03
1279	08-07-2015	764,0	42,0	8017,8	40,0%	5,20	5,18
1285	09-07-2015	897,0	47,0	8017,8	52,6%	5,36	5,27
1297	10-07-2015	868,0	40,0	8017,8	43,3%	5,35	5,22
1305	13-07-2015	902,0	35,0	8017,8	39,4%	5,24	5,09

Estudo da isomerização do lúpulo

<b>1311</b>	13-07-2015	875,0	39,0	8017,8	42,6%	5,32	5,17
<b>1321</b>	14-07-2015	862,0	42,0	8017,8	45,2%	5,32	5,12
<b>1323</b>	14-07-2015	881,0	39,0	8017,8	42,9%	5,30	5,06
<b>1334</b>	16-07-2015	930,0	37,0	8017,8	42,9%	5,30	5,00
<b>1338</b>	16-07-2015	926,0	40,0	8017,8	46,2%	5,32	5,18
<b>1343</b>	17-07-2015	932,0	40,0	8017,8	46,5%	5,31	5,04
<b>1347</b>	17-07-2015	922,0	38,0	8017,8	43,7%	5,25	5,00
<b>1358</b>	18-07-2015	856,0	42,0	8017,8	44,8%	5,40	5,17
<b>1362</b>	19-07-2015	906,0	41,0	8017,8	46,3%	5,37	5,06
<b>1364</b>	19-07-2015	810,0	41,0	8017,8	41,4%	5,39	5,09
<b>1368</b>	19-07-2015	881,0	42,0	8017,8	46,1%	5,39	5,10
<b>1371</b>	20-07-2015	855,0	41,0	8017,8	43,7%	5,37	5,07
<b>1373</b>	20-07-2015	883,0	40,0	8017,8	44,1%	5,30	5,05
<b>1385</b>	22-07-2015	891,0	43,0	7719,0	49,6%	5,35	5,10
<b>1393</b>	23-07-2015	912,0	42,0	7719,0	49,6%	5,30	5,07
<b>1395</b>	23-07-2015	858,0	40,0	7719,0	44,5%	5,36	5,20
<b>1401</b>	23-07-2015	880,0	37,0	7719,0	42,2%	5,36	5,09
<b>1411</b>	24-07-2015	923,0	38,0	8017,8	43,7%	5,33	5,25
<b>1413</b>	24-07-2015	907,0	36,0	8017,8	40,7%	5,30	5,17
<b>1435</b>	27-07-2015	1042,0	33,0	8017,8	42,9%	5,42	5,24
<b>1458</b>	31-07-2015	911,0	41,0	8017,8	46,6%	5,50	5,38
<b>1461</b>	31-07-2015	920,0	45,0	8017,8	51,6%	5,35	5,23
<b>1463</b>	31-07-2015	919,0	40,0	8017,8	45,8%	5,37	5,07
<b>1465</b>	01-08-2015	935,0	39,0	8017,8	45,5%	5,35	5,04
<b>1476</b>	02-08-2015	913,0	41,0	8017,8	46,7%	5,27	5,15
<b>1479</b>	02-08-2015	904,0	40,0	8017,8	45,1%	5,27	5,19
<b>1483</b>	02-08-2015	861,0	45,0	8017,8	48,3%	5,37	5,09
<b>1488</b>	03-08-2015	1022,0	48,0	8017,8	61,2%	5,34	5,30
<b>1491</b>	04-08-2015	893,0	38,0	8017,8	42,3%	5,21	5,00
<b>1500</b>	05-08-2015	924,0	37,0	8017,8	42,6%	5,20	5,05
<b>1501</b>	05-08-2015	826,0	40,0	8017,8	41,2%	5,15	5,11
<b>1502</b>	05-08-2015	946,0	32,0	8017,8	37,8%	5,21	5,10
<b>1503</b>	06-08-2015	933,0	37,0	8017,8	43,1%	5,19	5,06
<b>1511</b>	06-08-2015	839,0	44,0	8017,8	46,0%	5,28	5,12
<b>1518</b>	07-08-2015	854,0	39,0	8017,8	41,5%	5,40	5,22
<b>1520</b>	07-08-2015	920,0	38,0	8017,8	43,6%	5,20	5,12
<b>1531</b>	09-08-2015	915,0	41,0	8017,8	46,8%	5,26	4,99
<b>1533</b>	09-08-2015	916,0	36,0	8017,8	41,1%	5,29	5,00
<b>1535</b>	09-08-2015	916,0	35,0	8017,8	40,0%	5,20	5,10
<b>1547</b>	10-08-2015	883,0	35,0	8017,8	38,5%	5,25	4,92
<b>1557</b>	11-08-2015	832,0	45,0	8017,8	46,7%	5,37	5,00
<b>1559</b>	12-08-2015	880,0	37,0	8017,8	40,6%	5,35	5,07
<b>1566</b>	13-08-2015	798,0	40,0	8017,8	39,8%	5,22	5,14
<b>1568</b>	13-08-2015	929,0	37,0	8017,8	42,9%	5,25	4,99
<b>1576</b>	14-08-2015	921,0	38,0	8017,8	43,7%	5,29	5,01

Estudo da isomerização do lúpulo

1588	15-08-2015	882,0	35,0	8017,8	38,5%	5,16	5,06
1590	15-08-2015	841,0	42,0	8017,8	44,1%	5,35	5,24
1592	16-08-2015	878,0	36,0	8017,8	39,4%	5,33	5,07
1599	16-08-2015	940,0	39,0	8017,8	45,7%	5,15	5,02
1601	16-08-2015	931,0	42,0	8017,8	48,8%	5,21	5,08
1603	17-08-2015	925,0	41,0	8017,8	47,3%	5,42	4,94
1604	17-08-2015	912,0	37,0	8017,8	42,1%	5,20	5,05
1606	17-08-2015	857,0	40,0	8017,8	42,8%	5,23	5,06
1616	18-08-2015	869,0	40,0	8017,8	43,4%	5,17	5,03
1621	18-08-2015	912,0	37,0	8017,8	42,1%	5,22	5,07
1623	18-08-2015	924,0	36,0	8017,8	41,5%	5,34	5,10
1628	19-08-2015	857,0	37,0	8017,8	39,5%	5,15	4,96
1634	19-08-2015	842,0	39,0	8017,8	41,0%	5,25	4,99
1640	21-08-2015	852,0	41,0	8017,8	43,6%	5,26	5,10
1647	21-08-2015	933,0	36,0	8017,8	41,9%	5,26	5,03
1653	22-08-2015	929,0	39,0	8017,8	45,2%	5,31	5,12
1655	22-08-2015	928,0	38,0	8017,8	44,0%	5,33	5,06
1659	22-08-2015	881,0	42,0	8017,8	46,1%	5,30	5,10
1663	24-08-2015	822,0	45,0	8017,8	46,1%	5,16	4,95
1668	24-08-2015	908,0	34,0	8017,8	38,5%	5,20	5,00
1675	25-08-2015	893,0	38,0	8017,8	42,3%	5,17	5,00
1677	25-08-2015	956,0	36,0	8017,8	42,9%	5,20	5,02
1679	25-08-2015	879,0	35,0	8017,8	38,4%	5,22	5,05
1683	26-08-2015	946,0	39,0	8017,8	46,0%	5,18	4,96
1697	27-08-2015	879,0	36,0	8017,8	39,5%	5,22	5,05
1705	28-08-2015	1013,0	38,0	8017,8	48,0%	5,37	4,90
1707	29-08-2015	937,0	40,0	8017,8	46,7%	5,27	5,00
1709	29-08-2015	948,0	38,0	8017,8	44,9%	5,18	4,96
1713	29-08-2015	952,0	35,0	8017,8	41,6%	5,17	5,01
1717	29-08-2015	852,0	43,0	8017,8	45,7%	5,22	4,97
1721	30-08-2015	854,0	38,0	8017,8	40,5%	5,17	4,97
1723	30-08-2015	824,0	43,0	8017,8	44,2%	5,19	5,00
1727	30-08-2015	885,0	38,0	8017,8	41,9%	5,25	5,02
1731	31-08-2015	934,0	38,0	8017,8	44,3%	5,22	5,02
1754	02-09-2015	909,0	38,0	8316,6	41,5%	5,26	5,08
1758	02-09-2015	913,0	37,0	8316,6	40,6%	5,23	5,01
1768	03-09-2015	887,0	37,0	8316,6	39,5%	5,18	5,03
1773	04-09-2015	904,0	40,0	8316,6	43,5%	5,23	5,04
1775	04-09-2015	900,0	37,0	8316,6	40,0%	5,32	5,05
1779	05-09-2015	823,0	42,0	8316,6	41,6%	5,40	5,20
1785	06-09-2015	821,0	42,0	8316,6	41,5%	5,22	5,00
1787	06-09-2015	910,0	38,0	8316,6	41,6%	5,28	5,03
1791	06-09-2015	903,0	39,0	8316,6	42,3%	5,27	5,08
1795	07-09-2015	882,0	39,0	8316,6	41,4%	5,16	5,05
1797	07-09-2015	817,0	42,0	8316,6	41,3%	5,17	5,07

Estudo da isomerização do lúpulo

1799	07-09-2015	905,0	42,0	8316,6	45,7%	5,24	5,10
1801	07-09-2015	895,0	38,0	8316,6	40,9%	5,20	5,12
1813	09-09-2015	909,0	43,0	8316,6	47,0%	5,27	5,07
1819	11-09-2015	923,0	45,5	8316,6	50,5%	5,20	5,12
1823	12-09-2015	887,0	43,0	8316,6	45,9%	5,22	5,07
1828	13-09-2015	872,0	41,2	8316,6	43,2%	5,25	5,04
1839	14-09-2015	887,0	39,8	8316,6	42,4%	5,31	5,03
1858	20-09-2015	977,0	38,0	8316,6	44,6%	5,20	4,97
1859	20-09-2015	1034,0	37,0	8316,6	46,0%	5,22	5,02
1860	20-09-2015	1027,0	37,0	8316,6	45,7%	5,24	5,06
1864	21-09-2015	966,0	37,0	8316,6	43,0%	5,28	5,07
1866	21-09-2015	953,0	39,0	8316,6	44,7%	5,25	5,08
1870	21-09-2015	931,0	41,0	8316,6	45,9%	5,25	5,02
1877	22-09-2015	944,0	41,0	8316,6	46,5%	5,28	5,05
1881	22-09-2015	926,0	42,0	8316,6	46,8%	5,26	5,06
1883	22-09-2015	925,0	42,0	8316,6	46,7%	5,25	5,11
1892	23-09-2015	895,0	44,0	8316,6	47,4%	5,38	5,15
1899	24-09-2015	1008,0	41,0	8316,6	49,7%	5,32	5,18
1902	26-09-2015	785,0	46,0	8316,6	43,4%	5,50	5,30
1904	26-09-2015	955,0	38,0	8316,6	43,6%	5,30	5,22
1906	26-09-2015	948,0	40,0	8316,6	45,6%	5,35	5,18
1908	26-09-2015	908,0	40,0	8316,6	43,7%	5,32	5,20
1910	26-09-2015	950,0	41,0	8316,6	46,8%	5,34	5,22
1914	27-09-2015	899,0	39,0	8316,6	42,2%	5,20	5,06
1918	27-09-2015	953,0	39,0	8316,6	44,7%	5,29	5,04
1922	28-09-2015	902,0	36,0	8316,6	39,0%	5,24	5,02
1924	28-09-2015	929,0	34,0	8316,6	38,0%	5,26	5,06
1926	28-09-2015	873,0	37,0	8316,6	38,8%	5,35	5,08
1929	28-09-2015	1407,0	30,0	8316,6	50,8%	5,33	5,10
1930	01-10-2015	747,0	41,0	8316,6	36,8%	5,40	5,10
1931	02-10-2015	899,0	38,0	8316,6	41,1%	5,30	5,10
1934	02-10-2015	924,0	39,0	8316,6	43,3%	5,22	5,05
1950	03-10-2015	921,0	36,0	8316,6	39,9%	5,32	5,00
1954	04-10-2015	928,0	37,0	8316,6	41,3%	5,30	5,01
1956	04-10-2015	892,0	39,0	8316,6	41,8%	5,33	4,99
1960	04-10-2015	1082,0	37,0	8316,6	48,1%	5,30	5,00
1961	06-10-2015	807,0	40,0	8316,6	38,8%	5,37	5,15
1968	07-10-2015	950,0	33,0	8316,6	37,7%	5,17	5,08
1969	07-10-2015	976,0	32,0	8316,6	37,6%	5,20	5,05
2010	16-10-2015	951,0	38,0	8316,6	43,5%	5,25	5,05
2011	16-10-2015	890,0	40,0	8316,6	42,8%	5,27	5,20
2012	16-10-2015	776,0	38,0	8316,6	35,5%	5,25	5,10
2014	19-10-2015	754,0	46,0	8565,6	40,5%	5,36	5,09
2015	20-10-2015	881,0	41,0	8565,6	42,2%	5,33	5,15
2019	20-10-2015	952,0	39,0	8565,6	43,3%	5,20	4,98

<b>2021</b>	20-10-2015	946,0	40,0	8565,6	44,2%	5,26	5,00
<b>2023</b>	20-10-2015	959,0	40,0	8565,6	44,8%	5,30	5,00
<b>2025</b>	21-10-2015	957,0	40,0	8565,6	44,7%	5,32	5,00
<b>2041</b>	22-10-2015	918,0	41,0	8565,6	43,9%	5,30	5,12
<b>2062</b>	26-10-2015	875,0	38,0	8565,6	38,8%	5,33	5,07
<b>2064</b>	26-10-2015	955,0	36,0	8565,6	40,1%	5,31	5,10
<b>2075</b>	27-10-2015	967,0	38,0	8565,6	42,9%	5,20	5,00
<b>2081</b>	28-10-2015	966,0	37,0	8565,6	41,7%	5,20	5,02
<b>2083</b>	28-10-2015	968,0	36,0	8565,6	40,7%	5,23	5,02
<b>2084</b>	28-10-2015	806,0	37,0	8565,6	34,8%	5,15	4,98
<b>2092</b>	02-11-2015	768,0	43,0	8565,6	38,6%	5,40	5,22
<b>2094</b>	02-11-2015	922,0	39,0	8565,6	42,0%	5,29	5,20
<b>2104</b>	03-11-2015	919,0	38,0	8565,6	40,8%	5,36	5,10
<b>2105</b>	03-11-2015	871,0	40,0	8565,6	40,7%	5,21	5,02
<b>2107</b>	03-11-2015	874,0	39,0	8565,6	39,8%	5,30	5,02
<b>2115</b>	04-11-2015	1051,0	38,0	8565,6	46,6%	5,36	5,13
<b>2127</b>	05-11-2015	699,0	47,0	8565,6	38,4%	5,35	5,10
<b>2132</b>	06-11-2015	910,0	40,0	8565,6	42,5%	5,24	5,11
<b>2136</b>	06-11-2015	974,0	39,0	8565,6	44,3%	5,30	4,98
<b>2138</b>	06-11-2015	915,0	40,0	8565,6	42,7%	5,36	5,10
<b>2142</b>	07-11-2015	879,0	38,0	8565,6	39,0%	5,48	5,05
<b>2155</b>	10-11-2015	1050,0	37,0	8565,6	45,4%	5,18	5,03
<b>2161</b>	10-11-2015	923,0	35,0	8565,6	37,7%	5,25	5,07
<b>2170</b>	11-11-2015	910,0	38,0	8565,6	40,4%	5,22	5,04
<b>2172</b>	11-11-2015	863,0	42,0	8565,6	42,3%	5,30	5,12
<b>2175</b>	12-11-2015	912,0	38,0	8565,6	40,5%	5,23	5,02
<b>2187</b>	17-11-2015	856,0	43,0	8565,6	43,0%	5,31	5,10
<b>2193</b>	23-11-2015	778,0	45,0	8565,6	40,9%	5,50	5,30
<b>2196</b>	23-11-2015	989,0	39,0	8565,6	45,0%	5,30	5,10
<b>2201</b>	23-11-2015	975,0	40,0	8565,6	45,5%	5,32	5,10
<b>2222</b>	26-11-2015	923,0	38,0	8565,6	40,9%	5,30	5,10
<b>2227</b>	28-11-2015	979,0	39,0	8565,6	44,6%	5,24	5,03
<b>2237</b>	28-11-2015	955,0	40,0	8565,6	44,6%	5,28	5,01
<b>2247</b>	29-11-2015	947,0	40,0	8565,6	44,2%	5,27	5,07
<b>2249</b>	01-12-2015	1035,0	35,0	8565,6	42,3%	5,33	5,12
<b>2250</b>	02-12-2015	910,0	38,0	8565,6	40,4%	5,29	5,05
<b>2267</b>	03-12-2015	1087,0	36,0	8565,6	45,7%	5,28	5,03
<b>2268</b>	09-12-2015	818,0	41,0	8565,6	39,2%	5,41	5,14
<b>2269</b>	09-12-2015	913,0	41,0	8565,6	43,7%	5,40	4,97
<b>2270</b>	10-12-2015	957,0	39,0	8565,6	43,6%	5,37	4,99
<b>2272</b>	10-12-2015	902,0	43,0	8565,6	45,3%	5,19	5,08
<b>2273</b>	10-12-2015	925,0	38,0	8565,6	41,0%	5,22	5,05
<b>2285</b>	11-12-2015	909,0	41,0	8565,6	43,5%	5,41	5,13
<b>2292</b>	17-12-2015	732,0	42,0	8565,6	35,9%	5,43	5,10
<b>2294</b>	17-12-2015	910,0	38,0	8565,6	40,4%	5,39	5,10



Estudo da isomerização do lúpulo

<b>2305</b>	18-12-2015	956,0	37,0	8565,6	41,3%	5,36	5,08
<b>2309</b>	20-12-2015	836,0	43,0	8565,6	42,0%	5,33	5,20
<b>2310</b>	21-12-2015	915,0	38,0	8565,6	40,6%	5,31	5,16
<b>2312</b>	21-12-2015	950,0	39,0	8565,6	43,3%	5,33	5,04
<b>2317</b>	21-12-2015	921,0	39,0	8565,6	41,9%	5,22	4,95
<b>2319</b>	21-12-2015	908,0	43,0	8565,6	45,6%	5,18	4,90
<b>2335</b>	27-12-2015	743,0	44,0	8565,6	38,2%	5,40	5,13
<b>2337</b>	28-12-2015	966,0	38,0	8565,6	42,9%	5,35	5,13
<b>2339</b>	28-12-2015	956,0	35,0	8565,6	39,1%	5,27	5,12
<b>0001</b>	03-01-2016	995,0	31,0	9960,0	31,0%	5,43	5,15
<b>0015</b>	07-01-2016	763,0	38,0	8565,6	33,8%	5,40	5,20
<b>0017</b>	07-01-2016	953,0	37,0	9960,0	35,4%	5,36	5,09
<b>0021</b>	07-01-2016	896,0	38,0	9960,0	34,2%	5,34	5,03
<b>0039</b>	09-01-2016	921,0	38,0	9960,0	35,1%	5,20	5,06
<b>0049</b>	10-01-2016	893,0	39,0	8565,6	40,7%	5,26	5,01
<b>0060</b>	14-01-2016	778,0	43,0	8565,6	39,1%	5,39	5,22
<b>0086</b>	16-01-2016	948,0	40,0	8565,6	44,3%	5,36	5,16
<b>0131</b>	25-01-2016	765,0	40,0	8565,6	35,7%	5,30	5,02
<b>0136</b>	28-01-2016	810,0	42,0	8565,6	39,7%	5,42	5,13
<b>0139</b>	28-01-2016	959,0	38,0	8565,6	42,5%	5,41	5,14
<b>0140</b>	28-01-2016	949,0	37,0	8565,6	41,0%	5,34	5,10
<b>0141</b>	28-01-2016	951,0	38,0	8565,6	42,2%	5,35	5,08
<b>0142</b>	28-01-2016	910,0	40,0	8565,6	42,5%	5,35	5,06
<b>0143</b>	28-01-2016	939,0	38,0	8565,6	41,7%	5,34	5,07
<b>0144</b>	28-01-2016	958,0	38,0	8565,6	42,5%	5,37	5,08
<b>0164</b>	31-01-2016	786,0	44,0	8565,6	40,4%	5,48	5,20
<b>0226</b>	10-02-2016	1110,0	38,0	8565,6	49,2%	5,22	5,07
<b>0240</b>	16-02-2016	913,0	39,0	8565,6	41,6%	5,35	4,95
<b>0241</b>	16-02-2016	944,0	39,0	8565,6	43,0%	5,29	4,98
<b>0242</b>	17-02-2016	898,0	42,0	8565,6	44,0%	5,31	5,03
<b>0243</b>	17-02-2016	904,0	39,0	8565,6	41,2%	5,34	5,00
<b>0244</b>	17-02-2016	909,0	35,0	8565,6	37,1%	5,20	4,96
<b>0245</b>	17-02-2016	885,0	39,0	8565,6	40,3%	5,29	4,99
<b>0246</b>	17-02-2016	817,0	42,0	8565,6	40,1%	5,30	4,94
<b>0247</b>	17-02-2016	912,0	35,0	8565,6	37,3%	5,20	4,94
<b>0248</b>	17-02-2016	913,0	35,0	8565,6	37,3%	5,12	4,93
<b>0249</b>	17-02-2016	905,0	41,0	8565,6	43,3%	4,28	5,16
<b>0250</b>	17-02-2016	911,0	39,0	8565,6	41,5%	5,26	5,07
<b>0251</b>	17-02-2016	771,0	41,0	8565,6	36,9%	5,07	5,46
<b>0252</b>	17-02-2016	866,0	42,0	8565,6	42,5%	5,40	4,98
<b>0255</b>	18-02-2016	951,0	38,0	8565,6	42,2%	5,30	4,99
<b>0259</b>	18-02-2016	940,0	38,0	8565,6	41,7%	5,31	5,30
<b>0292</b>	28-02-2016	914,0	36,0	8565,6	38,4%	5,38	5,02
<b>0297</b>	28-02-2016	945,0	38,0	8565,6	41,9%	5,25	4,90
<b>0304</b>	29-02-2016	892,0	42,0	8565,6	43,7%	5,17	4,93

Estudo da isomerização do lúpulo

<b>0305</b>	29-02-2016	908,0	42,0	8565,6	44,5%	5,23	4,99
<b>0306</b>	29-02-2016	913,0	40,0	8565,6	42,6%	5,21	4,93
<b>0307</b>	29-02-2016	897,0	39,0	8565,6	40,8%	5,20	4,95
<b>0308</b>	29-02-2016	919,0	37,0	8565,6	39,7%	5,18	4,94
<b>0311</b>	01-03-2016	903,0	42,0	8565,6	44,3%	5,35	5,01
<b>0321</b>	07-03-2016	952,0	40,0	8565,6	44,5%	5,50	5,21
<b>0332</b>	08-03-2016	974,0	38,0	8565,6	43,2%	5,40	5,20
<b>0333</b>	09-03-2016	968,0	38,0	8565,6	42,9%	5,29	5,11
<b>0336</b>	09-03-2016	957,0	41,0	8565,6	45,8%	5,22	5,04
<b>0338</b>	09-03-2016	958,0	42,0	8565,6	47,0%	5,18	5,04
<b>0342</b>	13-03-2016	918,0	40,0	8565,6	42,9%	5,20	5,07
<b>0367</b>	15-03-2016	956,0	40,0	8565,6	44,6%	5,27	5,10
<b>0377</b>	22-03-2016	901,0	40,0	8565,6	42,1%	5,29	5,02
<b>0382</b>	22-03-2016	908,0	42,0	8565,6	44,5%	5,25	4,90
<b>0392</b>	23-03-2016	946,0	42,0	8565,6	46,4%	5,24	5,13
<b>0402</b>	25-03-2016	941,0	44,0	8565,6	48,3%	5,60	5,40
<b>0460</b>	10-04-2016	938,0	39,0	8565,6	42,7%	5,26	4,97
<b>0472</b>	11-04-2016	948,0	39,0	8565,6	43,2%	5,22	5,02
<b>0477</b>	12-04-2016	1071,0	37,0	8565,6	46,3%	5,40	5,16
<b>0516</b>	20-04-2016	983,0	36,0	8565,6	41,3%	5,30	5,03
<b>0553</b>	27-04-2016	939,0	36,0	8565,6	39%	5,31	5,04
<b>0554</b>	27-04-2016	926,0	37,0	8565,6	40%	5,34	5,02
<b>0559</b>	28-04-2016	938,0	37,0	8565,6	41%	5,12	4,93
<b>0575</b>	01-05-2016	984,0	36,0	8565,6	41%	5,29	5,04
<b>0580</b>	02-05-2016	968,0	37,0	8565,6	42%	5,22	5,01
<b>0581</b>	02-05-2016	980,0	37,0	8565,6	42%	5,29	5,01
<b>0595</b>	04-05-2016	958,0	35,0	8565,6	39%	5,35	5,14
<b>0598</b>	04-05-2016	1222,0	31,0	8565,6	44%	5,35	4,98

## A.2 – Efeito do tipo de extrato de lúpulo

### A.2.1 – Dados relativos à utilização de lúpulo 50% do tipo Nugget e 50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus

Na tabela A-2 estão presentes os valores utilizados na construção gráfica relativa à mistura de extrato de lúpulo.

O rendimento de isomerização foi calculado conforme a equação a.1. O total de  $\alpha$ -ácidos corresponde à soma dos  $\alpha$ -ácidos adicionados em lata e pela câmara de lúpulo.

**Tabela A-2 - Mistura de extrato de lúpulo (50% do tipo Magnum-Herkules-Taurus e 50% do tipo Nugget).**

<b>Fabrico</b>	<b>Volume (hL)</b>	<b>Amargo (UA)</b>	<b><math>\alpha</math>-ácidos da câmara (g)</b>	<b><math>\alpha</math>-ácidos de lata (g)</b>	<b>Total <math>\alpha</math>-ácidos (g)</b>	<b>Rendimento de isomerização (%)</b>	<b>pH Fim de Ebulição</b>
631	943,00	36	4432,2	4500,0	8932,2	38,0%	5,05
635	915,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	38,9%	5,13
637	873,00	45	4432,2	4500,0	8932,2	44,0%	5,17
639	916,00	41	4432,2	4500,0	8932,2	42,0%	5,10
641	914,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	40,9%	5,10
653	797,00	42	4432,2	4500,0	8932,2	37,5%	5,22
657	961,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	40,9%	5,15
659	934,00	44	4432,2	4500,0	8932,2	46,0%	5,20
668	951,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,5%	5,07
672	928,00	45	4432,2	4500,0	8932,2	46,8%	5,00
674	884,00	42	4432,2	4500,0	8932,2	41,6%	5,00
678	905,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	40,5%	5,18
680	948,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,4%	5,15
684	944,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	42,3%	5,02
688	919,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	39,1%	5,10
690	953,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,6%	5,10
698	954,00	37	4432,2	4500,0	8932,2	39,5%	5,10
712	936,00	42	4432,2	4500,0	8932,2	44,0%	4,94
718	940,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,0%	5,10
723	933,00	42	4432,2	4500,0	8932,2	43,9%	4,92
728	958,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,8%	5,08
732	962,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	40,9%	5,06
734	945,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	42,3%	4,98
743	947,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	40,3%	5,02
755	903,00	44	4432,2	4500,0	8932,2	44,5%	5,08
757	966,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	43,3%	4,97

<b>763</b>	934,00	41	4432,2	4500,0	8932,2	42,9%	5,01
<b>766</b>	864,00	41	4432,2	4500,0	8932,2	39,7%	5,26
<b>770</b>	962,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	40,9%	5,03
<b>784</b>	927,00	37	4432,2	4500,0	8932,2	38,4%	5,10
<b>796</b>	905,00	41	4432,2	4500,0	8932,2	41,5%	5,12
<b>798</b>	916,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	41,0%	5,13
<b>802</b>	1046,00	29	4432,2	4500,0	8932,2	34,0%	5,07
<b>804</b>	918,00	46	4432,2	4500,0	8932,2	47,3%	5,01
<b>806</b>	981,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	43,9%	5,00
<b>808</b>	977,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	41,6%	5,04
<b>815</b>	950,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,5%	5,11
<b>816</b>	914,00	43	4432,2	4500,0	8932,2	44,0%	5,13
<b>818</b>	955,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	40,6%	5,14
<b>821</b>	911,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	38,8%	5,10
<b>823</b>	908,00	38	4432,2	4500,0	8932,2	38,6%	5,14
<b>832</b>	939,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	42,1%	5,01
<b>841</b>	940,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	42,1%	5,02
<b>843</b>	917,00	43	4432,2	4500,0	8932,2	44,1%	5,11
<b>853</b>	932,00	43	4432,2	4500,0	8932,2	44,9%	5,02
<b>863</b>	922,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	41,3%	5,02
<b>866</b>	894,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	39,0%	5,95
<b>871</b>	901,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	40,3%	4,99
<b>876</b>	1049,00	40	4432,2	4500,0	8932,2	47,0%	4,90
<b>901</b>	940,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	41,0%	5,14
<b>925</b>	910,00	37	4432,2	4500,0	8932,2	37,7%	5,00
<b>933</b>	898,00	39	4432,2	4500,0	8932,2	39,2%	4,91
<b>1027</b>	882,00	44	4432,2	4500,0	8932,2	43,4%	5,04

## A.2.2 – Fichas de Lúpulo

Os dados fornecidos nas fichas de lúpulo foram adaptados através de informação disponibilizada pelo fornecedor.

### A.2.2.1 Extrato de lúpulo do tipo Magnum-Herkules-Taurus [14]

#### Extrato CO<sub>2</sub>

O extrato de CO<sub>2</sub> foi preparado através de lúpulo ou lúpulo em forma de *pellets* usando dióxido de carbono e contém os  $\alpha$ -ácidos,  $\beta$ -ácidos e óleos essenciais. O extrato de CO<sub>2</sub> fornece à cervejaria um produto concentrado que pode proporcionar maior eficiência e flexibilidade no fabrico.

### Características

O extrato de CO<sub>2</sub> retém o aroma e amargo potencial do lúpulo. Excelente estabilidade. Comparando com outros tipos de lúpulo o extrato representa uma forma conveniente e concentrada. Como as características originais do lúpulo são mantidas na cerveja, uma adição para a caldeira de ebulição no início do processo fornece principalmente amargor, enquanto uma adição posterior resulta apenas na transmissão de sabor.

### Especificações do produto

Descrição: Dependendo das condições de extração e na variedade do lúpulo, a cor do extrato pode variar de amarelo até verde-escuro. Apresenta-se como uma pasta à temperatura ambiente, tornando-se mais fluído à medida que a temperatura aumenta.

Densidade: 0,9 a 1,0 mg/L

Viscosidade: aproximadamente 1 a 3 Pa.s a 30°C - 40°C

α-ácidos: Gama típica entre 35 – 50% dependendo da variedade.

β-ácidos: Gama típica entre 15 – 40 %

Óleos de lúpulo: 3 – 12 mL/ 100g

#### *A.2.2.2 Extrato de lúpulo do tipo Nugget [15]*

### Especificação de aroma

Gengibre, Ananás e floral.

### Composição química

α-ácidos: 48%

β-ácidos: 4 – 6%

Co-Humulone: 24 – 30%

Óleos: 1.5 – 3mL/100g

A.3 – Isomerização de  $\alpha$ -ácidos antes e após a decantação

Na tabela A-3 estão presentes os valores relativos à construção gráfica representada no subcapítulo 3.1.3.

O rendimento de isomerização é calculado através da equação a.1.

A percentagem de aumento é calculada através da equação a.2:

$$\text{Percentagem de aumento (\%)} = \frac{\text{Amargo mosto frio (UA)} - \text{Amargo fim de ebulição (UA)}}{\text{Amargo mosto frio (UA)}} \times 100 \quad (\text{a.2})$$

Tabela A-3 – Valores obtidos de amargo após a ebulição e decantação.

Ensaio	$\alpha$ -ácidos (g)	Amargo de fim de ebulição (UA)	Amargo de mosto frio (UA)	Percentagem de aumento (%)	Rendimento mosto frio (%)	pH de Fim de Ebulição	Volume de fabrico (hL)
1	8900	33	40	18%	42%	5,13	945
2	8900	32	39	18%	43%	4,9	971
3	8900	35	41	15%	44%	5,12	955
4	8900	34	39	13%	42%	5,28	960
5	8900	36	39	8%	42%	5,2	952
6	8900	36	39	8%	42%	5,23	959
7	8900	36	37	3%	39%	5,12	939
8	8900	35	39	10%	41%	5,15	944
9	8900	34	39	13%	42%	5,12	956
10	8900	36	44	18%	43%	4,91	860
11	8900	37	40	8%	42%	-	933
12	8900	36	41	12%	42%	5	918
13	8900	35	39	10%	40%	5,07	922
14	8900	35	41	15%	43%	5,08	926
15	8900	36	40	10%	40%	5,12	894
16	8900	36	40	10%	40%	4,96	897
17	8900	36	44	18%	45%	5,03	911
18	8900	36	40	10%	41%	5,04	917
19	8900	36	41	12%	41%	5,05	898
20	8900	38	40	5%	41%	5,04	909
21	8900	35	40	13%	40%	5,11	900
22	8900	35	43	19%	43%	5,08	893
23	8900	37	42	12%	44%	5,06	925
24	8900	36	43	16%	40%	4,91	818

## A.4 – Correção do valor de amargo

Nas tabelas A4, A5 e A6 está representado o método de cálculo de ajuste de amargo na cerveja final, obtido através da folha de cálculo utilizada na empresa.

Na tabela A-4 são introduzidos os parâmetros de cada cuba a ser filtrada, para um TCF.

**Tabela A-4 – Introdução dos parâmetros das cubas a ser filtradas (Adaptado da folha de cálculo utilizada na empresa).**

SUPER BOCK 5,2%					SB5,2			TCF Nº			Filtro	
Fase				% ou VOL	EXT (ºP)	Alcool (v/v)	Aten . (%)	pH	COR (EBC)	UA	SO2 (mg/l)	Diac. (mg/l)
FERMENTAÇÃO	SB	-										
	SB	-										
	SB	-										
	SB	-										
	RT	-	Retorno									
		-	LICOR									
			MISTURA	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Na tabela A-5, através de uma base de cálculo definida, verifica-se se os parâmetros da cerveja após a diluição correspondem ao pretendido.

**Tabela A-5 – Especificação do valor objetivo de cada parâmetro (Adaptado da folha de cálculo utilizada na empresa).**

			% ou VOL	EXT (ºP)	Alcool (v/v)	Aten. (%)	pH	COR (EBC)	UA	SO2 (mg/l)	Diac. (mg/l)
FILTRAÇÃO	3000175	Perda Filtração	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,5	0,0	0,0
		Filtração (s/diluição)	0	0,00	0,0	0,0	0,0	-2,1	-2,5	0,0	0,00
		Especificações	Min	10,70	4,70	67	4,00	6,00	14,00	6,0	
			Max	11,00	5,20	73	4,40	8,00	18,00	10,0	0,06
			Alvo	10,85	4,95	70	4,20	7,00	16,00	8,0	0,06
		Especificações	10.7-11		4.7-5.2	67-73	4-4.4	6-8	14-18	6-10	0.06
		DILUIÇÃO TCF	0	10,85	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
		Agua Diluição	0		NÃO	NÃO	NÃO	CÔR	TETRA	NaMS	

A partir da tabela A-6 é adicionada a quantidade de tetra definida pela folha de cálculo.

**Tabela A-6 – Definição do valor de aditivos a adicionar (Adaptado da folha de cálculo utilizada na empresa).**

ADITIVOS	Material	V. alvo (1unid/1000 hl)	Adicionar:		
	Ext. Lúpulo (TETRA)	0,9	0,0	kg	antes filtro PYPP
	Extrato Malte	8	0,0	kg	antes filtro trap
	NaHSO3	0,6	0,00	kg	antes filtro trap
	KMS	0,2		kg	Tanque Kieselguhr



## A.5 – Análise da cor do mosto

Na tabela A-7 estão presentes os valores relativos à construção gráfica representada no subcapítulo 3.2.

O volume total do mosto corresponde à soma entre a quantidade de mosto frio e o volume de retorno.

**Tabela A-7 – Valores relativos à cor do mosto e dos maltes para os fabricos de 2016.**

Fabrico	Malte Pilsner		Malte Chocolate		Mosto frio	Retorno		Total Mosto	
	Quantidade (kg)	Lote	Quantidade (kg)	EBC	Volume (hL)	Volume (hL)	EBC	Volume (hL)	EBC
0001	12746,0	475,0	38,0	1070,0	995,0	20,0	39,1	1015,0	11,8
0002	13609,0	475,0	-	1070,0	1023,0	20,0	39,1	1043,0	12,1
0003	13598,0	475,0	-	1070,0	853,0	0,0	39,1	853,0	14,6
0014	13763,0	475,0	70,0	1070,0	763,0	-	-	763,0	14,5
0015	13765,0	475,0	69,0	1070,0	900,0	20,0	39,1	920,0	13,0
0016	13703,0	475,0	69,0	1070,0	922,0	20,0	39,1	942,0	13,6
0017	13727,0	475,0	70,0	1070,0	953,0	20,0	39,1	973,0	13,3
0018	13782,0	475,0	73,0	1070,0	911,0	20,0	39,1	931,0	13,5
0020	13748,0	476,0	69,0	1070,0	902,0	20,0	39,1	922,0	14,7
0021	7692,0	476,0	73,0	1070,0	896,0	20,0	39,1	916,0	13,4
0022	13691,0	476,0	70,0	1070,0	902,0	20,0	39,1	922,0	12,9
0023	13680,0	476,0	69,0	1070,0	907,0	20,0	39,1	927,0	12,9
0024	13692,0	476,0	70,0	1070,0	933,0	20,0	39,1	953,0	13,1
0025	13673,0	476,0	73,0	1070,0	913,0	20,0	39,1	933,0	13,4
0027	13649,0	476,0	73,0	1070,0	907,0	20,0	39,1	927,0	14,2
0028	13677,0	476,0	70,0	1070,0	906,0	20,0	39,1	926,0	12,6
0099	14780,0	478,0	70,0	1070,0	767,0	40,1	12,6	807,1	13,6
0100	14840,0	478,0	69,0	1070,0	917,0	40,1	12,6	957,1	13,0
0101	14780,0	478,0	69,0	1070,0	943,0	40,1	12,6	983,1	13,8
0102	14830,0	478,0	69,0	1070,0	950,0	40,1	12,6	990,1	13,8
0103	14810,0	478,0	70,0	1070,0	935,0	37,3	44,9	972,3	13,9
0104	14800,0	478,0	70,0	1070,0	944,0	40,1	44,9	984,1	13,5
0105	14750,0	478,0	70,0	1070,0	900,0	40,1	44,9	940,1	14,3
0106	14720,0	478,0	69,0	1070,0	942,0	40,1	44,9	982,1	12,7
0107	14720,0	478,0	70,0	1070,0	952,0	40,1	44,9	992,1	12,9
0108	14750,0	478,0	70,0	1070,0	903,0	-	-	903,0	12,3
0109	14730,0	478,0	70,0	1070,0	932,0	40,1	44,9	972,1	12,1
0110	14750,0	478,0	70,0	1070,0	964,0	40,1	44,9	1004,1	12,3
0111	14710,0	478,0	70,0	1070,0	860,0	40,1	44,9	900,1	12,4
0112	14740,0	478,0	80,0	1070,0	987,0	40,1	44,9	1027,1	12,7
0113	14730,0	478,0	80,0	1070,0	933,0	40,1	44,9	973,1	12,7

Estudo da isomerização do lúpulo

0114	14750,0	478,0	80,0	1070,0	939,0	40,1	44,9	979,1	13,1
0115	14760,0	478,0	79,0	1070,0	934,0	40,1	44,9	974,1	12,9
0116	14740,0	478,0	83,0	1070,0	948,0	40,1	44,9	988,1	13,3
0117	14750,0	478,0	80,0	1070,0	892,0	40,1	44,9	932,1	13,4
0118	14760,0	478,0	79,0	1070,0	973,0	40,1	44,9	1013,1	12,8
0119	14770,0	478,0	90,0	1070,0	947,0	40,1	44,9	987,1	13,8
0120	14760,0	478,0	89,0	1070,0	997,0	40,1	44,9	1037,1	13,1
0121	14740,0	478,0	90,0	1070,0	860,0	40,1	44,9	900,1	13,4
0122	14750,0	478,0	90,0	1070,0	960,0	40,1	44,9	1000,1	13,5
0123	14750,0	478,0	90,0	1070,0	901,0	40,1	44,9	941,1	13,1
0124	14760,0	478,0	90,0	1070,0	927,0	40,1	44,9	967,1	13,4
0125	14740,0	478,0	89,0	1070,0	950,0	40,1	44,9	990,1	13,4
0126	14730,0	478,0	89,0	1070,0	932,0	40,1	44,9	972,1	13,7
0127	14740,0	478,0	89,0	1070,0	918,0	40,1	44,9	958,1	13,4
0128	14770,0	478,0	89,0	1070,0	936,0	40,1	44,9	976,1	16,5
0129	14770,0	478,0	90,0	1070,0	900,0	40,1	44,9	940,1	13,9
0131	13702,0	478,0	89,0	1070,0	765,0	40,1	44,9	805,1	14,0
0136	13535,0	478,0	89,0	1070,0	810,0	40,1	44,9	850,1	15,2
0137	13702,0	478,0	90,0	1070,0	914,0	40,1	44,9	954,1	12,3
0138	13689,0	478,0	89,0	1070,0	932,0	23,4	44,9	955,4	13,1
0139	13710,0	478,0	90,0	1070,0	959,0	40,1	10,8	999,1	12,6
0140	13720,0	478,0	90,0	1070,0	949,0	40,1	10,8	989,1	12,8
0141	13725,0	478,0	90,0	1070,0	951,0	40,1	10,8	991,1	12,7
0142	13717,0	478,0	99,0	1070,0	910,0	40,1	10,8	950,1	13,2
0143	13703,0	478,0	99,0	1070,0	939,0	30,0	10,8	969,0	13,4
0144	13659,0	478,0	100,0	1070,0	958,0	30,0	10,8	988,0	13,3
0145	13668,0	478,0	100,0	1070,0	944,0	30,0	10,8	974,0	13,0
0146	13676,0	478,0	100,0	1070,0	942,0	30,0	10,8	972,0	13,2
0147	13663,0	478,0	99,0	1070,0	956,0	30,0	10,8	986,0	15,3
0148	13628,0	478,0	100,0	1070,0	895,0	30,0	10,8	925,0	14,8
0149	13649,0	478,0	99,0	1070,0	942,0	30,0	10,8	972,0	13,6
0150	13625,0	478,0	100,0	1070,0	953,0	30,0	10,8	983,0	13,9
0151	14360,0	478,0	99,0	1070,0	944,0	30,0	10,8	974,0	14,6
0152	15190,0	478,0	99,0	1070,0	936,0	30,0	10,8	966,0	17,3
0153	15210,0	478,0	100,0	1070,0	941,0	30,0	10,8	971,0	14,1
0154	13630,0	478,0	99,0	1070,0	912,0	30,0	10,8	942,0	14,0
0155	13633,0	478,0	100,0	1070,0	943,0	30,0	10,8	973,0	13,6
0156	13672,0	478,0	99,0	1070,0	972,0	30,0	10,8	1002,0	14,1
0160	13667,0	478,0	100,0	1070,0	907,0	30,0	10,8	937,0	14,7
0161	14150,0	478,0	100,0	1070,0	949,0	30,0	10,8	979,0	13,9
0162	13743,0	478,0	100,0	1070,0	954,0	30,0	10,8	984,0	13,6
0163	13709,0	478,0	100,0	1070,0	1028,0	30,0	10,8	1058,0	14,4
0164	13750,0	478,0	99,0	1070,0	786,0	-	-	786,0	15,1
0165	13748,0	478,0	100,0	1070,0	898,0	-	-	898,0	13,9
0166	13737,0	478,0	99,0	1070,0	932,0	16,6	10,8	948,6	13,6

Estudo da isomerização do lúpulo

0167	13734,0	478,0	100,0	1070,0	958,0	30,0	10,8	988,0	14,0
0168	13736,0	478,0	99,0	1070,0	945,0	30,0	10,8	975,0	13,9
0169	13745,0	478,0	99,0	1070,0	938,0	30,0	10,8	968,0	13,9
0174	13652,0	478,0	102,0	1070,0	757,0	30,0	10,8	787,0	15,6
0175	13662,0	478,0	102,0	1070,0	907,0	16,8	10,8	923,8	13,3
0176	13655,0	478,0	102,0	1070,0	940,0	30,0	10,8	970,0	14,3
0177	13634,0	478,0	102,0	1070,0	961,0	30,0	10,8	991,0	13,8
0178	13636,0	478,0	103,0	1070,0	945,0	30,0	10,8	975,0	14,0
0179	13618,0	478,0	102,0	1070,0	959,0	30,0	12,9	989,0	13,7
0183	13640,0	478,0	102,0	1070,0	911,0	-	-	911,0	14,6
0184	13660,0	478,0	103,0	1070,0	940,0	-	-	940,0	13,9
0185	13631,0	478,0	102,0	1070,0	935,0	-	-	935,0	14,3
0186	13656,0	478,0	103,0	1070,0	866,0	-	-	866,0	15,1
0187	13659,0	478,0	102,0	1070,0	963,0	40,1	12,9	1003,1	14,3
0188	13660,0	478,0	102,0	1070,0	985,0	40,1	12,9	1025,1	13,8
0192	13515,0	478,0	-	1070,0	975,0	40,1	12,9	1015,1	29,2
0193	13568,0	478,0	-	1070,0	909,0	40,1	12,9	949,1	10,3
0194	13522,0	478,0	-	1070,0	959,0	40,1	12,9	999,1	12,1
0195	13572,0	478,0	102,0	1070,0	979,0	40,1	12,9	1019,1	13,2
0196	13684,0	479,0	102,0	1070,0	951,0	40,1	12,9	991,1	13,3
0197	13676,0	479,0	102,0	1070,0	970,0	40,1	12,9	1010,1	13,5
0198	13663,0	479,0	102,0	1070,0	914,0	40,1	12,9	954,1	13,8
0199	13645,0	479,0	102,0	1070,0	958,0	40,1	12,9	998,1	13,9
0200	13665,0	479,0	102,0	1070,0	960,0	40,1	12,9	1000,1	13,7
0201	13639,0	479,0	102,0	1070,0	962,0	40,1	12,9	1002,1	14,2
0202	13663,0	479,0	102,0	1070,0	954,0	40,1	12,9	994,1	14,5
0203	13663,0	479,0	102,0	1070,0	966,0	40,1	12,9	1006,1	14,5
0204	13636,0	479,0	102,0	1070,0	906,0	40,1	12,9	946,1	14,2
0205	13704,0	479,0	102,0	1070,0	954,0	40,1	12,9	994,1	14,0
0206	13653,0	479,0	103,0	1070,0	957,0	40,1	12,9	997,1	14,0
0207	13690,0	479,0	102,0	1070,0	953,0	40,1	12,9	993,1	13,8
0208	13662,0	479,0	102,0	1070,0	952,0	40,1	12,9	992,1	14,0
0209	13688,0	479,0	102,0	1070,0	965,0	40,1	12,9	1005,1	14,1
0210	13673,0	479,0	102,0	1070,0	912,0	40,1	12,9	952,1	14,4
0211	13673,0	479,0	102,0	1070,0	935,0	21,6	12,9	956,6	14,0
0212	13687,0	479,0	102,0	1070,0	915,0	-	-	915,0	14,6
0213	13629,0	479,0	112,0	1070,0	968,0	40,1	-	1008,1	14,2
0214	13584,0	479,0	112,0	1070,0	938,0	40,1	-	978,1	14,2
0215	13570,0	479,0	112,0	1070,0	946,0	40,1	-	986,1	14,3
0216	13587,0	479,0	112,0	1070,0	915,0	40,1	-	955,1	14,9
0217	13572,0	479,0	113,0	1070,0	966,0	40,1	-	1006,1	13,9
0218	13589,0	479,0	112,0	1070,0	948,0	40,1	-	988,1	14,3
0219	13634,0	479,0	105,0	1070,0	949,0	40,1	-	989,1	14,4
0220	13581,0	479,0	112,0	1070,0	963,0	40,1	-	1003,1	13,9
0221	13593,0	479,0	113,0	1070,0	948,0	40,1	-	988,1	14,0

Estudo da isomerização do lúpulo

0222	13590,0	479,0	112,0	1070,0	912,0	40,1	-	952,1	14,1
0223	13607,0	479,0	113,0	1070,0	945,0	40,1	-	985,1	14,3
0224	13590,0	479,0	112,0	1070,0	945,0	40,1	-	985,1	14,5
0225	13580,0	479,0	112,0	1070,0	956,0	40,1	-	996,1	14,3
0226	13602,0	479,0	113,0	1070,0	1110,0	40,1	-	1150,1	14,8
0227	13494,0	479,0	113,0	1070,0	756,0	-	-	756,0	16,4
0228	13559,0	479,0	112,0	1070,0	898,0	40,1	-	938,1	14,4
0229	9440,0	479,0	112,0	1070,0	988,0	40,1	-	1028,1	14,4
0231	1100,0	479,0	-	1070,0	889,0	0,1	-	889,1	15,7
0232	890,0	479,0	-	1070,0	929,0	-	-	929,0	14,8
0233	14840,0	479,0	-	1070,0	887,0	-	-	887,0	16,7
0234	14840,0	479,0	-	1070,0	918,0	-	-	918,0	16,0
0235	14860,0	479,0	-	1070,0	918,0	-	-	918,0	14,9
0236	14840,0	479,0	-	1070,0	934,0	-	-	934,0	16,7
0237	13440,0	479,0	-	1070,0	939,0	-	-	939,0	16,9
0238	14780,0	479,0	-	1070,0	877,0	-	-	877,0	15,6
0239	14780,0	479,0	-	1070,0	891,0	-	-	891,0	14,5
0240	14770,0	479,0	111,0	1070,0	913,0	-	-	913,0	17,1
0241	14770,0	479,0	111,0	1070,0	944,0	-	-	944,0	15,4
0242	14770,0	479,0	111,0	1070,0	898,0	-	-	898,0	14,5
0243	14790,0	477,0	111,0	1070,0	904,0	-	-	904,0	17,5
0244	14790,0	477,0	111,0	1070,0	909,0	-	-	909,0	16,8
0245	14780,0	477,0	111,0	1070,0	885,0	-	-	885,0	17,2
0246	14810,0	477,0	111,0	1070,0	817,0	-	-	817,0	17,4
0247	14780,0	477,0	111,0	1070,0	912,0	-	-	912,0	16,1
0248	14780,0	477,0	111,0	1070,0	913,0	-	-	913,0	17,2
0249	14780,0	479,0	111,0	1070,0	905,0	-	-	905,0	16,1
0250	14760,0	479,0	111,0	1070,0	911,0	-	-	911,0	14,5
0251	14770,0	479,0	111,0	1070,0	771,0	-	-	771,0	14,8
0252	14770,0	479,0	111,0	1070,0	866,0	-	-	866,0	16,4
0253	14750,0	479,0	111,0	1070,0	914,0	-	-	914,0	15,0
0254	14800,0	479,0	111,0	1070,0	956,0	40,1	-	996,1	15,5
0255	14790,0	479,0	111,0	1070,0	951,0	40,1	-	991,1	14,8
0256	14770,0	479,0	110,0	1070,0	936,0	40,1	-	976,1	16,0
0257	14790,0	479,0	111,0	1070,0	949,0	40,1	-	989,1	16,2
0259	14750,0	479,0	111,0	1070,0	940,0	40,1	-	980,1	14,7
0261	14760,0	479,0	111,0	1070,0	877,0	40,1	-	917,1	16,6
0263	14780,0	479,0	111,0	1070,0	937,0	40,1	-	977,1	14,2
0264	14810,0	479,0	111,0	1070,0	961,0	40,1	-	1001,1	14,4
0265	14820,0	479,0	111,0	1070,0	946,0	40,1	-	986,1	15,1
0266	14790,0	479,0	111,0	1070,0	908,0	-	-	908,0	15,5
0267	14800,0	479,0	111,0	1070,0	888,0	-	-	888,0	14,8
0268	14790,0	479,0	111,0	1070,0	901,0	-	-	901,0	15,2
0269	14770,0	479,0	110,0	1070,0	878,0	-	-	878,0	15,0
0270	14770,0	479,0	111,0	1070,0	903,0	-	-	903,0	14,8

Estudo da isomerização do lúpulo

0272	14790,0	479,0	111,0	1070,0	887,0	-	-	887,0	15,0
0273	14780,0	479,0	111,0	1070,0	893,0	40,1	-	933,1	15,3
0274	14800,0	479,0	111,0	1070,0	963,0	40,1	-	1003,1	15,6
0275	14760,0	479,0	111,0	1070,0	958,0	40,1	-	998,1	16,0
0276	14800,0	479,0	111,0	1070,0	953,0	40,1	7,3	993,1	15,2
0277	14790,0	479,0	111,0	1070,0	953,0	40,1	7,3	993,1	15,1
0278	14630,0	479,0	111,0	1070,0	944,0	40,1	7,3	984,1	15,2
0279	14790,0	479,0	111,0	1070,0	899,0	40,1	7,3	939,1	15,0
0282	13681,0	479,0	111,0	1070,0	817,0	40,1	7,3	857,1	14,5
0284	13706,0	479,0	111,0	1070,0	904,0	40,1	7,3	944,1	13,6
0286	13664,0	479,0	111,0	1070,0	884,0	-	-	884,0	14,5
0287	13699,0	479,0	111,0	1070,0	866,0	-	-	866,0	14,1
0288	13652,0	479,0	111,0	1070,0	919,0	-	-	919,0	13,8
0289	13664,0	479,0	111,0	1070,0	912,0	-	-	912,0	14,0
0290	13679,0	479,0	111,0	1070,0	938,0	25,5	7,3	963,5	13,8
0291	13687,0	479,0	111,0	1070,0	947,0	40,1	7,3	987,1	14,3
0292	13675,0	479,0	111,0	1070,0	914,0	40,1	7,3	954,1	13,1
0293	13649,0	479,0	111,0	1070,0	945,0	40,1	7,3	985,1	13,7
0294	13654,0	479,0	111,0	1070,0	944,0	40,1	7,3	984,1	14,6
0295	13689,0	479,0	111,0	1070,0	954,0	40,1	7,3	994,1	14,0
0296	13671,0	479,0	111,0	1070,0	940,0	40,1	7,3	980,1	14,0
0297	13683,0	479,0	111,0	1070,0	945,0	40,1	7,3	985,1	13,6
0298	13608,0	479,0	111,0	1070,0	890,0	-	-	890,0	16,0
0300	13701,0	480,0	111,0	1070,0	951,0	40,1	7,3	991,1	14,0
0301	13688,0	480,0	111,0	1070,0	951,0	40,1	7,3	991,1	14,9
0302	13714,0	480,0	111,0	1070,0	913,0	-	-	913,0	15,5
0303	13669,0	480,0	111,0	1070,0	917,0	-	-	917,0	15,2
0304	13702,0	480,0	111,0	1070,0	892,0	-	-	892,0	15,4
0305	13718,0	480,0	111,0	1070,0	908,0	-	-	908,0	16,3
0306	13638,0	477,0	111,0	1070,0	913,0	-	-	913,0	16,8
0307	13645,0	477,0	111,0	1070,0	897,0	-	-	897,0	15,2
0308	13656,0	477,0	111,0	1070,0	919,0	-	-	919,0	16,5
0309	13712,0	480,0	111,0	1070,0	946,0	40,1	7,3	986,1	15,5
0310	13720,0	480,0	111,0	1070,0	934,0	-	-	934,0	15,7
0311	13680,0	480,0	111,0	1070,0	903,0	40,1	7,3	943,1	16,0
0316	13704,0	480,0	111,0	1070,0	1019,0	40,1	7,3	1059,1	12,9
0317	13663,0	480,0	111,0	1070,0	903,0	40,1	7,3	943,1	14,4
0318	13684,0	480,0	111,0	1070,0	965,0	40,1	7,3	1005,1	14,1
0319	13699,0	480,0	111,0	1070,0	907,0	-	-	907,0	16,1
0320	13728,0	480,0	111,0	1070,0	924,0	-	-	924,0	15,8
0321	13698,0	480,0	111,0	1070,0	952,0	-	-	952,0	15,9
0325	13670,0	480,0	111,0	1070,0	946,0	40,1	-	986,1	14,9
0326	13661,0	480,0	111,0	1070,0	954,0	40,1	-	994,1	15,6
0327	13671,0	480,0	111,0	1070,0	954,0	40,1	-	994,1	15,7
0328	13666,0	480,0	111,0	1070,0	913,0	40,1	-	953,1	15,8

Estudo da isomerização do lúpulo

0329	13641,0	480,0	111,0	1070,0	940,0	40,1	7,3	980,1	16,2
0330	13703,0	480,0	111,0	1070,0	951,0	40,1	7,3	991,1	15,4
0331	12307,0	480,0	-	1070,0	991,0	40,1	7,3	1031,1	16,0
0332	13679,0	480,0	111,0	1070,0	974,0	40,1	7,3	1014,1	15,6
0333	13722,0	480,0	111,0	1070,0	968,0	40,1	7,3	1008,1	15,4
0334	13687,0	480,0	111,0	1070,0	895,0	40,1	7,3	935,1	16,6
0335	13675,0	480,0	111,0	1070,0	944,0	40,1	11,5	984,1	15,7
0336	13681,0	480,0	111,0	1070,0	957,0	40,1	11,5	997,1	16,7
0337	6570,0	480,0	111,0	1070,0	936,0	40,1	11,5	976,1	15,7
0338	13671,0	480,0	111,0	1070,0	958,0	36,7	11,5	994,7	16,7
0342	13622,0	480,0	101,0	1070,0	918,0	-	-	918,0	15,2
0344	13627,0	480,0	101,0	1070,0	941,0	40,1	11,5	981,1	15,2
0345	14250,0	480,0	101,0	1070,0	904,0	40,1	11,5	944,1	14,3
0346	13550,0	480,0	101,0	1070,0	971,0	40,1	11,5	1011,1	14,6
0347	13546,0	480,0	101,0	1070,0	954,0	40,1	11,5	994,1	14,2
0348	13562,0	480,0	101,0	1070,0	966,0	40,1	11,5	1006,1	14,2
0349	13563,0	480,0	101,0	1070,0	955,0	40,1	11,5	995,1	14,7
0350	13526,0	480,0	101,0	1070,0	959,0	40,1	11,5	999,1	15,4
0351	12605,0	480,0	101,0	1070,0	924,0	39,4	11,5	963,4	14,5
0352	13541,0	480,0	101,0	1070,0	969,0	33,5	11,5	1002,5	15,2
0353	13549,0	480,0	101,0	1070,0	947,0	28,6	11,5	975,6	15,1
0355	13585,0	480,0	101,0	1070,0	958,0	40,1	11,5	998,1	14,9
0356	12655,0	480,0	101,0	1070,0	938,0	40,1	11,5	978,1	16,2
0357	13513,0	480,0	101,0	1070,0	960,0	40,1	11,5	1000,1	14,6
0363	13518,0	480,0	101,0	1070,0	937,0	40,1	11,5	977,1	14,3
0364	13557,0	480,0	101,0	1070,0	955,0	40,1	11,5	995,1	15,6
0365	13534,0	480,0	101,0	1070,0	959,0	40,1	11,5	999,1	15,2
0366	13538,0	480,0	101,0	1070,0	938,0	40,1	11,5	978,1	14,8
0367	14480,0	480,0	101,0	1070,0	956,0	40,1	11,5	996,1	15,0
0368	13707,0	480,0	101,0	1070,0	960,0	40,1	11,5	1000,1	14,7
0369	13681,0	480,0	101,0	1070,0	965,0	40,1	11,5	1005,1	14,4
0370	13702,0	480,0	101,0	1070,0	951,0	40,1	6,9	991,1	14,5
0371	13660,0	480,0	101,0	1070,0	951,0	40,1	6,9	991,1	19,0
0376	13721,0	480,0	101,0	1070,0	792,0	30,0	10,7	822,0	14,0
0377	13655,0	480,0	101,0	1070,0	901,0	30,0	10,7	931,0	14,3
0378	13409,0	480,0	101,0	1070,0	951,0	30,0	10,7	981,0	14,6
0379	13576,0	480,0	101,0	1070,0	949,0	30,0	10,7	979,0	14,7
0380	13532,0	480,0	101,0	1070,0	955,0	30,0	10,7	985,0	14,3
0381	13523,0	480,0	101,0	1070,0	958,0	30,0	10,7	988,0	14,4
0382	13528,0	480,0	101,0	1070,0	908,0	30,0	10,7	938,0	15,5
0383	13567,0	480,0	101,0	1070,0	947,0	30,0	10,7	977,0	14,5
0384	13578,0	480,0	101,0	1070,0	950,0	30,0	10,7	980,0	14,9
0391	13532,0	480,0	101,0	1070,0	946,0	29,5	10,7	975,5	14,7
0392	13578,0	480,0	101,0	1070,0	946,0	30,0	10,7	976,0	15,8
0394	13652,0	482,0	101,0	1070,0	823,0	30,0	10,7	853,0	15,3

Estudo da isomerização do lúpulo

0395	13612,0	482,0	101,0	1070,0	911,0	30,0	10,7	941,0	14,7
0396	13633,0	482,0	101,0	1070,0	954,0	30,0	10,7	984,0	16,6
0401	13642,0	482,0	101,0	1070,0	907,0	30,0	10,7	937,0	14,4
0402	13644,0	482,0	101,0	1070,0	941,0	30,0	10,7	971,0	16,7
0403	13663,0	482,0	101,0	1070,0	961,0	30,0	10,7	991,0	14,4
0404	13656,0	482,0	101,0	1070,0	964,0	30,0	10,7	994,0	14,6
0405	13655,0	482,0	101,0	1070,0	947,0	30,0	10,7	977,0	14,7
0406	13654,0	482,0	101,0	1070,0	959,0	30,0	10,7	989,0	15,1
0407	13655,0	482,0	101,0	1070,0	901,0	30,0	10,7	931,0	15,5
0408	13661,0	482,0	101,0	1070,0	912,0	30,0	10,7	942,0	15,3
0409	13639,0	482,0	101,0	1070,0	904,0	30,0	10,7	934,0	15,9
0410	13653,0	482,0	101,0	1070,0	908,0	-	-	908,0	16,4
0411	13655,0	482,0	101,0	1070,0	849,0	-	-	849,0	16,1
0412	13659,0	482,0	101,0	1070,0	903,0	-	-	903,0	16,2
0438	13700,0	482,0	101,0	1070,0	899,0	0,0	11,7	899,0	16,3
0439	13699,0	482,0	101,0	1070,0	936,0	0,0	11,7	936,0	15,8
0440	13652,0	482,0	101,0	1070,0	876,0	0,0	11,7	876,0	18,7
0441	13671,0	482,0	101,0	1070,0	881,0	0,0	11,7	881,0	16,7
0442	13654,0	482,0	101,0	1070,0	978,0	0,0	11,7	978,0	17,0
0447	13581,0	482,0	-	1070,0	958,0	30,0	11,7	988,0	12,1
0448	13673,0	482,0	111,0	1070,0	936,0	30,0	11,7	966,0	16,0
0449	13660,0	482,0	101,0	1070,0	958,0	30,0	11,7	988,0	15,1
0457	13690,0	482,0	101,0	1070,0	945,0	30,0	11,7	975,0	14,8
0458	13693,0	482,0	101,0	1070,0	890,0	30,0	11,7	920,0	16,5
0459	13672,0	482,0	101,0	1070,0	975,0	30,0	11,7	1005,0	15,2
0460	13703,0	482,0	101,0	1070,0	938,0	30,0	11,7	968,0	15,9
0464	13673,0	482,0	101,0	1070,0	923,0	30,0	11,7	953,0	17,3
0465	13684,0	482,0	101,0	1070,0	963,0	30,0	11,7	993,0	15,7
0466	13650,0	482,0	101,0	1070,0	897,0	30,0	11,7	927,0	14,9
0468	13702,0	482,0	101,0	1070,0	931,0	30,0	11,7	961,0	15,7
0469	13655,0	482,0	91,0	1070,0	967,0	30,0	11,7	997,0	14,3
0470	13723,0	482,0	108,0	1070,0	921,0	30,0	11,7	951,0	15,7
0471	13661,0	482,0	91,0	1070,0	889,0	30,0	11,7	919,0	15,0
0472	13675,0	482,0	91,0	1070,0	948,0	30,0	11,7	978,0	15,5
0473	13612,0	482,0	91,0	1070,0	959,0	30,0	11,7	989,0	14,6
0474	13691,0	482,0	91,0	1070,0	926,0	30,0	11,7	956,0	15,3
0475	13712,0	482,0	91,0	1070,0	967,0	30,0	11,7	997,0	15,0
0476	13761,0	482,0	91,0	1070,0	1010,0	30,0	11,7	1040,0	15,0
0477	13750,0	482,0	91,0	1070,0	1071,0	30,0	11,7	1101,0	14,6
0481	13744,0	482,0	91,0	1070,0	800,0	3,1	6,9	803,1	14,8
0482	13713,0	482,0	91,0	1070,0	909,0	6,2	11,7	915,2	13,6
0483	13701,0	482,0	91,0	1070,0	972,0	30,0	11,7	1002,0	14,1
0484	13722,0	482,0	91,0	1070,0	970,0	0,0	11,7	970,0	14,3
0485	13737,0	482,0	91,0	1070,0	927,0	0,0	11,7	927,0	14,0
0486	13756,0	482,0	91,0	1070,0	951,0	0,0	11,7	951,0	14,6

Estudo da isomerização do lúpulo

0487	13707,0	482,0	91,0	1070,0	908,0	0,0	11,7	908,0	14,9
0488	13762,0	482,0	91,0	1070,0	911,0	0,0	11,7	911,0	14,7
0489	13747,0	482,0	91,0	1070,0	725,0	0,0	11,7	725,0	15,2
0490	13683,0	482,0	71,0	1070,0	929,0	0,0	11,7	929,0	14,3
0491	13683,0	482,0	71,0	1070,0	947,0	0,0	11,7	947,0	13,8
0492	13710,0	482,0	71,0	1070,0	949,0	0,0	11,7	949,0	13,7
0493	13739,0	482,0	91,0	1070,0	913,0	0,0	11,7	913,0	14,8
0494	13742,0	482,0	91,0	1070,0	940,0	0,0	11,7	940,0	14,6
0495	13751,0	482,0	91,0	1070,0	951,0	0,0	11,7	951,0	15,1
0496	13766,0	482,0	91,0	1070,0	937,0	0,0	11,7	937,0	15,5
0497	13623,0	482,0	91,0	1070,0	939,0	30,0	11,7	969,0	15,4
0498	13713,0	483,0	91,0	1070,0	980,0	30,0	11,7	1010,0	14,0
0499	13718,0	483,0	91,0	1070,0	1040,0	30,0	11,7	1070,0	14,9
0500	13712,0	483,0	91,0	1070,0	963,0	30,0	11,7	993,0	14,3
0501	13692,0	483,0	91,0	1070,0	932,0	30,0	11,7	962,0	13,3
0502	13740,0	483,0	91,0	1070,0	932,0	30,0	11,7	962,0	14,0
0503	13717,0	483,0	91,0	1070,0	1140,0	30,0	11,7	1170,0	13,8
0504	13690,0	483,0	91,0	1070,0	837,0	30,0	11,7	867,0	12,9
0505	13705,0	483,0	91,0	1070,0	925,0	30,0	8,7	955,0	11,2
0506	13739,0	483,0	93,0	1070,0	958,0	30,0	8,7	988,0	11,8
0507	15250,0	483,0	93,0	1070,0	956,0	30,0	8,7	986,0	14,5
0508	15210,0	483,0	93,0	1070,0	901,0	30,0	8,7	931,0	13,9
0509	15240,0	483,0	93,0	1070,0	923,0	30,0	8,7	953,0	15,8
0510	15240,0	483,0	93,0	1070,0	983,0	30,0	8,7	1013,0	15,5
0511	15200,0	483,0	93,0	1070,0	963,0	30,0	8,7	993,0	15,7
0512	15210,0	483,0	93,0	1070,0	961,0	30,0	8,7	991,0	14,5
0513	15170,0	483,0	93,0	1070,0	978,0	30,0	8,7	1008,0	14,1
0514	15220,0	483,0	93,0	1070,0	982,0	40,1	13,1	1022,1	14,1
0515	15170,0	483,0	93,0	1070,0	940,0	30,0	8,7	970,0	14,2
0516	15240,0	483,0	93,0	1070,0	983,0	30,0	8,7	1013,0	12,6
0517	15240,0	483,0	93,0	1070,0	966,0	30,0	8,7	996,0	14,0
0518	15210,0	483,0	93,0	1070,0	955,0	30,0	8,7	985,0	6,9
0519	15230,0	483,0	93,0	1070,0	892,0	0,0	8,7	892,0	13,9
0520	15230,0	483,0	93,0	1070,0	929,0	0,0	8,7	929,0	13,3
0521	15200,0	483,0	93,0	1070,0	915,0	30,0	8,7	945,0	13,2
0522	15230,0	483,0	93,0	1070,0	941,0	30,0	8,7	971,0	13,6
0523	15240,0	483,0	93,0	1070,0	935,0	30,0	8,7	965,0	13,1
0525	15210,0	483,0	93,0	1070,0	930,0	30,0	8,7	960,0	14,6
0526	13679,0	483,0	93,0	1070,0	926,0	30,0	8,7	956,0	13,6
0527	13699,0	483,0	93,0	1070,0	902,0	30,0	8,7	932,0	13,0
0532	13689,0	483,0	93,0	1070,0	810,0	-	-	810,0	15,1
0533	13678,0	483,0	93,0	1070,0	796,0	-	-	796,0	9,3
0534	13714,0	483,0	93,0	1070,0	930,0	-	-	930,0	15,0
0535	13684,0	483,0	93,0	1070,0	1061,0	-	-	1061,0	14,6
0542	13692,0	483,0	93,0	1070,0	924,0	30,0	8,7	954,0	13,3



Estudo da isomerização do lúpulo

0543	13696,0	483,0	93,0	1070,0	958,0	30,0	8,7	988,0	13,9
0544	13708,0	483,0	93,0	1070,0	943,0	30,0	8,7	973,0	11,5
0545	13697,0	483,0	93,0	1070,0	962,0	30,0	8,7	992,0	13,1
0546	13688,0	483,0	93,0	1070,0	945,0	30,0	8,7	975,0	13,1
0547	13727,0	483,0	93,0	1070,0	942,0	30,0	8,7	972,0	11,8
0548	13764,0	483,0	93,0	1070,0	931,0	30,0	8,7	961,0	14,5
0549	13796,0	483,0	93,0	1070,0	942,0	30,0	8,7	972,0	13,0
0553	13652,0	483,0	73,0	1070,0	939,0	30,0	8,7	969,0	11,3
0554	13643,0	483,0	73,0	1070,0	926,0	30,0	8,7	956,0	12,3
0555	13647,0	483,0	73,0	1070,0	949,0	30,0	8,7	979,0	11,5
0556	13683,0	483,0	93,0	1070,0	946,0	30,0	8,7	976,0	13,4
0557	13724,0	483,0	93,0	1070,0	945,0	30,0	8,7	975,0	12,9
0558	13793,0	483,0	93,0	1070,0	961,0	30,0	8,7	991,0	11,8
0559	13772,0	483,0	93,0	1070,0	938,0	25,6	8,7	963,6	14,1
0560	13771,0	483,0	93,0	1070,0	928,0	30,0	6,9	958,0	13,4
0561	13780,0	483,0	93,0	1070,0	963,0	40,1	6,9	1003,1	11,3
0562	13765,0	483,0	93,0	1070,0	951,0	40,1	6,9	991,1	13,2
0563	13764,0	483,0	93,0	1070,0	955,0	40,1	6,9	995,1	12,4
0564	13738,0	483,0	93,0	1070,0	961,0	40,1	6,9	1001,1	12,5
0565	13765,0	483,0	93,0	1070,0	946,0	40,1	6,9	986,1	13,7
0566	13781,0	483,0	93,0	1070,0	909,0	40,1	6,9	949,1	14,1
0571	13639,0	483,0	-	1070,0	792,0	40,1	6,9	832,1	10,1
0572	13631,0	483,0	-	1070,0	943,0	40,1	6,9	983,1	7,7
0573	13667,0	483,0	92,0	1070,0	991,0	40,1	6,9	1031,1	12,6
0574	13696,0	483,0	93,0	1070,0	969,0	40,1	6,9	1009,1	8,3
0575	13626,0	483,0	93,0	1070,0	984,0	40,1	6,9	1024,1	10,9
0576	13739,0	483,0	93,0	1070,0	998,0	40,1	6,9	1038,1	12,9
0577	13718,0	483,0	93,0	1070,0	988,0	40,1	6,9	1028,1	12,9
0578	13705,0	483,0	93,0	1070,0	984,0	40,1	6,9	1024,1	14,2
0579	13676,0	483,0	93,0	1070,0	929,0	40,1	6,9	969,1	14,3
0580	13710,0	483,0	93,0	1070,0	968,0	40,1	6,9	1008,1	13,4
0581	13702,0	483,0	93,0	1070,0	980,0	40,1	6,9	1020,1	13,5
0594	13707,0	483,0	103,0	1070,0	947,0	30,0	6,9	977,0	6,6
0595	13686,0	483,0	103,0	1070,0	958,0	30,0	6,9	988,0	12,2
0596	13650,0	483,0	103,0	1070,0	968,0	30,0	6,9	998,0	10,8
0597	13685,0	483,0	103,0	1070,0	920,0	30,0	6,9	950,0	12,6
0598	13698,0	483,0	103,0	1070,0	1222,0	14,5	6,9	1236,5	10,7
0600	13676,0	483,0	103,0	1070,0	744,0	-	-	744,0	15,3
0601	13710,0	483,0	103,0	1070,0	897,0	9,7	13,1	906,7	13,2
0602	13695,0	483,0	103,0	1070,0	964,0	30,0	13,1	994,0	14,8
0603	13714,0	483,0	103,0	1070,0	947,0	30,0	13,1	977,0	13,4
0604	13669,0	483,0	103,0	1070,0	957,0	30,0	13,1	987,0	13,0
0605	13652,0	483,0	103,0	1070,0	957,0	30,0	13,1	987,0	13,0
0606	13663,0	483,0	103,0	1070,0	911,0	30,0	13,1	941,0	13,7
0607	13531,0	483,0	103,0	1070,0	956,0	30,0	13,1	986,0	13,4

Estudo da isomerização do lúpulo

0608	15130,0	483,0	103,0	1070,0	957,0	30,0	13,1	987,0	14,9
0614	15110,0	483,0	103,0	1070,0	956,0	30,0	13,1	986,0	12,5
0615	15110,0	483,0	103,0	1070,0	954,0	30,0	13,1	984,0	16,2
0616	13760,0	483,0	-	1070,0	946,0	30,0	13,1	976,0	14,0
0617	15140,0	483,0	103,0	1070,0	952,0	30,0	13,1	982,0	14,9
0618	15100,0	483,0	103,0	1070,0	913,0	30,0	13,1	943,0	15,0
0620	14850,0	483,0	103,0	1070,0	942,0	30,0	13,1	972,0	14,9
0621	15090,0	483,0	103,0	1070,0	943,0	30,0	13,1	973,0	16,3
0622	15110,0	483,0	100,0	1070,0	955,0	30,0	13,1	985,0	15,7
0623	15080,0	483,0	113,0	1070,0	943,0	30,0	13,1	973,0	14,9
0624	15110,0	483,0	113,0	1070,0	898,0	30,0	13,1	928,0	16,6
0625	15120,0	483,0	110,0	1070,0	948,0	30,0	13,1	978,0	15,8
0626	15110,0	483,0	113,0	1070,0	935,0	30,0	13,1	965,0	17,0
0627	15090,0	483,0	110,0	1070,0	940,0	30,0	13,1	970,0	16,2
0628	15110,0	483,0	113,0	1070,0	950,0	30,0	13,1	980,0	15,3
0629	15090,0	483,0	113,0	1070,0	950,0	30,0	13,1	980,0	15,7
0630	15090,0	483,0	113,0	1070,0	908,0	30,0	13,1	938,0	15,1
0631	15120,0	483,0	113,0	1070,0	943,0	0,0	13,1	943,0	16,3
0632	15080,0	483,0	113,0	1070,0	911,0	0,0	13,1	911,0	18,0
0633	15120,0	483,0	110,0	1070,0	910,0	0,0	13,1	910,0	16,6
0634	15140,0	483,0	73,0	1070,0	910,0	0,0	13,1	910,0	15,1
0635	15170,0	483,0	70,0	1070,0	915,0	0,0	13,1	915,0	14,4
0636	15190,0	483,0	73,0	1070,0	906,0	0,0	13,1	906,0	15,0
0637	15090,0	483,0	113,0	1070,0	873,0	0,0	13,1	873,0	17,1
0641	14230,0	485,0	113,0	1070,0	914,0	0,0	13,1	914,0	15,2
0642	15170,0	485,0	113,0	1070,0	920,0	10,0	13,1	930,0	15,6
0644	15190,0	485,0	113,0	1070,0	895,0	0,0	13,1	895,0	16,1
0645	15180,0	485,0	113,0	1070,0	933,0	30,0	13,1	963,0	14,8
0646	15190,0	485,0	113,0	1070,0	941,0	30,0	13,1	971,0	15,5
0652	14250,0	485,0	113,0	1070,0	1072,0	0,0	13,1	1072,0	16,1
0653	15260,0	485,0	103,0	1070,0	797,0	30,0	-	827,0	17,7
0654	15270,0	485,0	103,0	1070,0	926,0	30,0	-	956,0	14,0
0655	15290,0	485,0	103,0	1070,0	963,0	30,0	-	993,0	15,2
0656	15220,0	485,0	103,0	1070,0	963,0	30,0	-	993,0	15,5
0657	15220,0	485,0	103,0	1070,0	961,0	30,0	-	991,0	14,8
0658	15190,0	485,0	103,0	1070,0	975,0	30,0	-	1005,0	15,3
0659	15180,0	485,0	103,0	1070,0	934,0	30,0	-	964,0	16,7
0660	15220,0	485,0	103,0	1070,0	953,0	30,0	-	983,0	16,2
0661	15190,0	485,0	103,0	1070,0	944,0	30,0	-	974,0	15,4
0662	15190,0	485,0	103,0	1070,0	964,0	30,0	-	994,0	15,9
0663	15220,0	485,0	103,0	1070,0	952,0	30,0	-	982,0	15,3
0664	15210,0	485,0	103,0	1070,0	960,0	30,0	-	990,0	15,8
0665	15210,0	485,0	103,0	1070,0	901,0	30,0	-	931,0	17,0
0666	15220,0	485,0	103,0	1070,0	951,0	30,0	-	981,0	16,6
0667	15210,0	485,0	103,0	1070,0	976,0	30,0	-	1006,0	16,3

Estudo da isomerização do lúpulo

0668	15150,0	485,0	103,0	1070,0	951,0	30,0	-	981,0	14,9
0670	14012,0	485,0	103,0	1070,0	921,0	0,0	-	921,0	14,9
0671	14114,0	015	103,0	1070,0	920,0	0,0	-	920,0	13,0
0672	14124,0	015	103,0	1070,0	928,0	10,0	-	938,0	15,7
0673	14138,0	015	103,0	1070,0	905,0	0,0	-	905,0	13,7
0674	14144,0	015	103,0	1070,0	884,0	0,0	-	884,0	13,5
0675	14140,0	015	103,0	1070,0	935,0	0,0	-	935,0	13,2
0676	14119,0	015	103,0	1070,0	1017,0	0,0	-	1017,0	13,5
0677	13658,0	485,0	103,0	1070,0	877,0	0,0	-	877,0	15,1
0678	13668,0	485,0	103,0	1070,0	905,0	30,0	-	935,0	14,0
0679	13657,0	485,0	103,0	1070,0	947,0	30,0	-	977,0	14,2
0680	13675,0	485,0	103,0	1070,0	948,0	30,0	-	978,0	15,0
0681	13676,0	485,0	103,0	1070,0	947,0	30,0	-	977,0	14,8
0682	13680,0	485,0	103,0	1070,0	928,0	30,0	-	958,0	14,5
0683	13689,0	485,0	103,0	1070,0	958,0	30,0	-	988,0	14,7
0684	13682,0	485,0	103,0	1070,0	944,0	30,0	-	974,0	14,8
0685	13689,0	485,0	103,0	1070,0	940,0	30,0	-	970,0	14,6
0686	13664,0	485,0	103,0	1070,0	952,0	30,0	-	982,0	15,1
0687	13710,0	485,0	103,0	1070,0	914,0	30,0	-	944,0	15,2
0688	13676,0	485,0	103,0	1070,0	919,0	30,0	-	949,0	15,1
0689	13705,0	485,0	103,0	1070,0	953,0	30,0	-	983,0	15,9
0690	13701,0	485,0	103,0	1070,0	953,0	30,0	-	983,0	15,2
0691	13689,0	485,0	103,0	1070,0	947,0	30,0	-	977,0	15,4
0693	13719,0	485,0	103,0	1070,0	931,0	30,0	-	961,0	15,2
0694	13708,0	485,0	103,0	1070,0	978,0	30,0	-	1008,0	15,0
0695	13724,0	485,0	103,0	1070,0	916,0	30,0	-	946,0	14,7
0696	13733,0	485,0	103,0	1070,0	950,0	30,0	-	980,0	14,5
0697	13771,0	485,0	103,0	1070,0	948,0	30,0	-	978,0	16,0
0698	13670,0	485,0	103,0	1070,0	954,0	30,0	-	984,0	16,2
0699	13753,0	485,0	103,0	1070,0	936,0	30,0	-	966,0	16,1
0708	13703,0	485,0	103,0	1070,0	953,0	30,0	22,5	983,0	16,5
0709	13709,0	485,0	103,0	1070,0	960,0	30,0	22,5	990,0	16,3
0710	13662,0	485,0	103,0	1070,0	947,0	30,0	22,5	977,0	16,6
0711	13665,0	485,0	103,0	1070,0	940,0	30,0	22,5	970,0	16,8
0712	13688,0	485,0	103,0	1070,0	936,0	30,0	22,5	966,0	17,8
0713	13681,0	485,0	93,0	1070,0	969,0	30,0	22,5	999,0	16,5
0714	13682,0	485,0	93,0	1070,0	811,0	30,0	22,5	841,0	17,7
0715	13686,0	485,0	93,0	1070,0	953,0	30,0	22,5	983,0	16,6
0716	13648,0	485,0	93,0	1070,0	965,0	30,0	22,5	995,0	16,5
0717	13657,0	485,0	93,0	1070,0	976,0	30,0	22,5	1006,0	16,2
0718	13674,0	485,0	83,0	1070,0	940,0	30,0	22,5	970,0	15,9
0719	13660,0	485,0	83,0	1070,0	979,0	30,0	22,5	1009,0	16,1
0720	13686,0	485,0	83,0	1070,0	960,0	30,0	22,5	990,0	16,3
0721	13650,0	485,0	83,0	1070,0	1073,0	30,0	22,5	1103,0	15,9
0722	13653,0	485,0	83,0	1070,0	752,0	-	-	752,0	16,8

Estudo da isomerização do lúpulo

0723	13719,0	485,0	83,0	1070,0	933,0	30,0	22,5	963,0	13,7
0724	13682,0	485,0	83,0	1070,0	956,0	30,0	22,5	986,0	14,3
0726	13684,0	485,0	83,0	1070,0	923,0	30,0	22,5	953,0	14,7
0727	13701,0	485,0	83,0	1070,0	976,0	30,0	22,5	1006,0	15,5
0728	13682,0	485,0	83,0	1070,0	958,0	30,0	22,5	988,0	14,9
0729	13699,0	485,0	83,0	1070,0	971,0	30,0	22,5	1001,0	14,4
0730	13696,0	485,0	83,0	1070,0	959,0	30,0	22,5	989,0	14,5
0731	13708,0	485,0	83,0	1070,0	962,0	30,0	22,5	992,0	14,4
0732	13704,0	485,0	83,0	1070,0	962,0	30,0	22,5	992,0	14,7
0733	13680,0	485,0	83,0	1070,0	955,0	30,0	22,5	985,0	15,6
0734	13699,0	485,0	83,0	1070,0	945,0	30,0	22,5	975,0	15,0
0736	13686,0	485,0	83,0	1070,0	943,0	30,0	22,5	973,0	16,2
0737	13676,0	485,0	83,0	1070,0	945,0	30,0	22,5	975,0	15,0
0738	13697,0	485,0	83,0	1070,0	971,0	30,0	22,5	1001,0	14,8
0739	13672,0	485,0	83,0	1070,0	955,0	30,0	22,5	985,0	15,5
0740	13692,0	485,0	93,0	1070,0	961,0	30,0	22,5	991,0	15,8
0741	13655,0	485,0	93,0	1070,0	966,0	30,0	22,5	996,0	15,9
0742	13655,0	485,0	93,0	1070,0	900,0	30,0	22,5	930,0	19,0
0743	14640,0	485,0	93,0	1070,0	947,0	30,0	22,5	977,0	16,1
0744	13673,0	485,0	93,0	1070,0	944,0	26,9	22,5	970,9	15,3
0745	13697,0	485,0	93,0	1070,0	953,0	30,0	8,3	983,0	14,8
0746	13673,0	485,0	91,0	1070,0	948,0	30,0	8,3	978,0	16,4
0755	13620,0	485,0	-	1070,0	903,0	30,0	8,3	933,0	15,9
0756	13612,0	485,0	-	1070,0	927,0	30,0	8,3	957,0	13,1
0757	13593,0	485,0	-	1070,0	966,0	30,0	8,3	996,0	11,6
0758	13703,0	485,0	91,0	1070,0	969,0	30,0	8,3	999,0	14,7
0759	13707,0	485,0	91,0	1070,0	968,0	30,0	8,3	998,0	15,5
0760	13713,0	485,0	91,0	1070,0	944,0	10,0	8,3	954,0	15,4
0761	13689,0	485,0	91,0	1070,0	914,0	0,0	8,3	914,0	16,0
0762	13674,0	485,0	91,0	1070,0	938,0	0,0	8,3	938,0	15,7
0763	13716,0	489,0	91,0	1070,0	934,0	0,0	8,3	934,0	15,8
0764	13740,0	489,0	91,0	1070,0	925,0	0,0	8,3	925,0	16,0
0765	13745,0	489,0	91,0	1070,0	1010,0	0,0	8,3	1010,0	16,3
0766	13673,0	489,0	91,0	1070,0	864,0	30,0	8,3	894,0	16,5
0767	13692,0	489,0	91,0	1070,0	919,0	30,0	8,3	949,0	15,4
0768	13700,0	489,0	91,0	1070,0	964,0	30,0	8,3	994,0	15,0
0769	13702,0	489,0	91,0	1070,0	958,0	30,0	8,3	988,0	15,4
0770	13696,0	489,0	91,0	1070,0	962,0	30,0	8,3	992,0	15,0
0771	13701,0	489,0	91,0	1070,0	958,0	30,0	8,3	988,0	15,2
0772	13658,0	489,0	91,0	1070,0	937,0	30,0	8,3	967,0	15,8
0773	13685,0	489,0	91,0	1070,0	954,0	30,0	8,3	984,0	15,9
0774	13691,0	489,0	91,0	1070,0	965,0	30,0	8,3	995,0	16,2
0775	13708,0	489,0	91,0	1070,0	960,0	30,0	8,3	990,0	16,2
0776	13673,0	489,0	91,0	1070,0	952,0	30,0	8,3	982,0	16,1
0777	13701,0	489,0	91,0	1070,0	959,0	30,0	8,3	989,0	16,1

Estudo da isomerização do lúpulo

0778	13680,0	489,0	91,0	1070,0	933,0	30,0	8,3	963,0	17,3
0779	13610,0	489,0	91,0	1070,0	946,0	30,0	8,3	976,0	16,4
0780	13634,0	489,0	91,0	1070,0	968,0	30,0	8,3	998,0	15,2
0781	13664,0	489,0	91,0	1070,0	954,0	30,0	8,3	984,0	15,3
0782	13643,0	489,0	91,0	1070,0	955,0	30,0	8,3	985,0	15,5
0783	13651,0	489,0	91,0	1070,0	947,0	30,0	8,3	977,0	15,4
0784	13607,0	489,0	91,0	1070,0	927,0	30,0	8,3	957,0	15,7
0785	13630,0	489,0	91,0	1070,0	993,0	30,0	8,3	1023,0	15,3
0786	13672,0	489,0	91,0	1070,0	939,0	30,0	8,3	969,0	16,1
0787	13652,0	489,0	91,0	1070,0	944,0	30,0	8,3	974,0	18,8
0788	13646,0	489,0	91,0	1070,0	956,0	30,0	8,3	986,0	15,2
0794	13630,0	489,0	91,0	1070,0	984,0	30,0	8,3	1014,0	16,3
0795	13632,0	489,0	91,0	1070,0	880,0	0,0	8,3	880,0	15,6
0796	13616,0	489,0	91,0	1070,0	905,0	0,0	8,3	905,0	20,4
0797	13634,0	489,0	91,0	1070,0	942,0	0,0	8,3	942,0	16,6
0798	13615,0	489,0	91,0	1070,0	916,0	0,0	8,3	916,0	18,2
0799	13651,0	489,0	91,0	1070,0	918,0	0,0	8,3	918,0	16,9
0800	13635,0	489,0	91,0	1070,0	927,0	0,0	8,3	927,0	16,6
0801	13661,0	489,0	91,0	1070,0	881,0	0,0	8,3	881,0	19,2
0802	12250,0	489,0	91,0	1070,0	1046,0	0,0	8,3	1046,0	17,4
0803	13641,0	489,0	91,0	1070,0	847,0	30,0	8,3	877,0	19,3
0805	13668,0	489,0	91,0	1070,0	926,0	-	-	926,0	16,5
0806	13647,0	489,0	91,0	1070,0	981,0	30,0	8,3	1011,0	16,4
0808	12692,0	489,0	91,0	1070,0	977,0	30,0	8,3	1007,0	16,2
0813	13647,0	489,0	91,0	1070,0	974,0	30,0	8,3	1004,0	16,3
0814	13675,0	489,0	91,0	1070,0	990,0	30,0	8,3	1020,0	16,5
0815	4890,0	489,0	91,0	1070,0	950,0	30,0	8,3	980,0	21,1
0816	14840,0	489,0	91,0	1070,0	914,0	30,0	8,3	944,0	17,3
0817	14820,0	489,0	91,0	1070,0	951,0	30,0	8,3	981,0	16,6
0818	14760,0	489,0	91,0	1070,0	955,0	30,0	8,3	985,0	17,2
0819	14700,0	489,0	91,0	1070,0	943,0	30,0	8,3	973,0	16,1
0820	14740,0	489,0	91,0	1070,0	926,0	30,0	8,3	956,0	18,4
0821	14710,0	489,0	91,0	1070,0	911,0	0,0	8,3	911,0	-
0822	14750,0	489,0	91,0	1070,0	893,0	0,0	8,3	893,0	17,3
0823	14750,0	489,0	91,0	1070,0	908,0	0,0	8,3	908,0	16,8
0828	14700,0	489,0	78,0	1070,0	919,0	11,9	8,3	930,9	13,6
0830	13551,0	489,0	78,0	1070,0	925,0	30,0	8,3	955,0	15,6
0831	13555,0	489,0	78,0	1070,0	943,0	30,0	8,3	973,0	14,9
0832	13520,0	489,0	78,0	1070,0	939,0	30,0	8,3	969,0	15,6
0834	13520,0	489,0	78,0	1070,0	836,0	30,0	8,3	866,0	15,2
0835	13528,0	489,0	51,0	1070,0	928,0	30,0	8,3	958,0	14,0
0836	13522,0	489,0	51,0	1070,0	947,0	30,0	8,3	977,0	13,7
0837	13520,0	489,0	51,0	1070,0	970,0	30,0	8,3	1000,0	15,2
0838	13533,0	489,0	51,0	1070,0	888,0	30,0	8,3	918,0	14,1
0839	13497,0	489,0	51,0	1070,0	949,0	30,0	8,3	979,0	13,5

Estudo da isomerização do lúpulo

0840	12079,0	489,0	-	1070,0	933,0	30,0	8,3	963,0	14,2
0841	13646,0	489,0	51,0	1070,0	940,0	30,0	8,3	970,0	13,1
0842	13626,0	489,0	51,0	1070,0	912,0	30,0	8,3	942,0	15,2
0843	13646,0	489,0	51,0	1070,0	917,0	30,0	8,3	947,0	14,1
0844	13649,0	489,0	51,0	1070,0	938,0	30,0	8,3	968,0	13,9
0845	13669,0	489,0	51,0	1070,0	932,0	30,0	8,3	962,0	14,0
0846	13668,0	489,0	41,0	1070,0	940,0	30,0	8,3	970,0	12,6
0847	13680,0	489,0	41,0	1070,0	936,0	30,0	8,3	966,0	12,5
0848	13665,0	489,0	41,0	1070,0	921,0	30,0	8,3	951,0	13,3
0849	13611,0	489,0	41,0	1070,0	934,0	30,0	8,3	964,0	12,8
0850	13644,0	489,0	41,0	1070,0	932,0	30,0	8,3	962,0	12,9
0851	13682,0	489,0	41,0	1070,0	941,0	30,0	8,3	971,0	12,9
0852	13635,0	489,0	41,0	1070,0	904,0	4,1	8,3	908,1	12,9
0853	13637,0	489,0	41,0	1070,0	932,0	30,0	8,3	962,0	13,6
0854	13677,0	489,0	41,0	1070,0	906,0	30,0	8,3	936,0	13,1
0855	13565,0	489,0	41,0	1070,0	924,0	30,0	8,3	954,0	13,4
0856	13670,0	489,0	41,0	1070,0	966,0	30,0	8,3	996,0	13,2
0857	13689,0	489,0	61,0	1070,0	905,0	30,0	8,3	935,0	14,9
0858	13688,0	489,0	61,0	1070,0	919,0	30,0	8,3	949,0	14,2
0859	13692,0	489,0	61,0	1070,0	923,0	30,0	8,3	953,0	14,2
0860	13626,0	489,0	61,0	1070,0	895,0	30,0	8,3	925,0	15,3
0861	13641,0	489,0	61,0	1070,0	921,0	30,0	8,3	951,0	13,7
0862	13648,0	489,0	61,0	1070,0	935,0	30,0	8,3	965,0	13,8
0863	13629,0	489,0	61,0	1070,0	922,0	30,0	8,3	952,0	14,6
0864	13623,0	489,0	61,0	1070,0	914,0	30,0	8,3	944,0	14,2
0865	13618,0	489,0	61,0	1070,0	930,0	30,0	8,3	960,0	13,6
0866	13640,0	489,0	61,0	1070,0	894,0	30,0	8,3	924,0	14,5
0867	13638,0	489,0	61,0	1070,0	899,0	30,0	8,3	929,0	13,6
0868	13634,0	489,0	61,0	1070,0	930,0	30,0	8,3	960,0	14,5
0869	13611,0	489,0	61,0	1070,0	926,0	30,0	8,3	956,0	14,2
0870	13655,0	489,0	61,0	1070,0	878,0	0,0	8,3	878,0	15,4
0871	13626,0	489,0	61,0	1070,0	901,0	10,0	8,3	911,0	15,6
0872	13622,0	489,0	61,0	1070,0	1038,0	0,0	8,3	1038,0	16,3
0875	13614,0	489,0	61,0	1070,0	927,0	30,0	8,3	957,0	16,1
0876	13567,0	489,0	63,0	1070,0	1049,0	30,0	8,3	1079,0	13,3
0877	13634,0	490,0	63,0	1070,0	860,0	29,2	8,3	889,2	15,0
0878	13609,0	490,0	63,0	1070,0	889,0	30,0	8,3	919,0	12,8
0879	13637,0	490,0	63,0	1070,0	933,0	30,0	8,3	963,0	14,5
0880	13603,0	490,0	61,0	1070,0	918,0	30,0	8,3	948,0	14,0
0881	13617,0	490,0	61,0	1070,0	922,0	30,0	8,3	952,0	13,9
0882	13639,0	490,0	61,0	1070,0	926,0	30,0	8,3	956,0	14,1
0896	13591,0	490,0	-	1070,0	836,0	30,0	8,3	866,0	14,4
0897	13543,0	490,0	-	1070,0	898,0	30,0	8,3	928,0	10,0
0898	13545,0	490,0	-	1070,0	925,0	30,0	8,3	955,0	11,3
0899	13613,0	490,0	63,0	1070,0	926,0	30,0	8,3	956,0	13,5

Estudo da isomerização do lúpulo

0900	13634,0	490,0	63,0	1070,0	925,0	30,0	8,3	955,0	14,2
0901	13616,0	490,0	63,0	1070,0	940,0	30,0	8,3	970,0	13,5
0902	13612,0	490,0	63,0	1070,0	904,0	30,0	8,3	934,0	14,3
0903	13632,0	490,0	63,0	1070,0	907,0	30,0	8,3	937,0	14,0
0904	13635,0	490,0	63,0	1070,0	938,0	30,0	8,3	968,0	13,0
0905	13638,0	490,0	63,0	1070,0	905,0	30,0	8,3	935,0	13,3
0906	13618,0	490,0	63,0	1070,0	917,0	30,0	8,3	947,0	13,5
0908	13650,0	490,0	63,0	1070,0	898,0	30,0	8,3	928,0	14,3
0909	13622,0	490,0	63,0	1070,0	898,0	30,0	8,3	928,0	14,5
0910	13626,0	490,0	63,0	1070,0	936,0	30,0	8,3	966,0	15,4
0914	13640,0	490,0	63,0	1070,0	903,0	30,0	8,3	933,0	14,1
0915	13668,0	490,0	63,0	1070,0	911,0	30,0	8,3	941,0	13,5
0916	13582,0	490,0	63,0	1070,0	930,0	30,0	8,3	960,0	13,6
0917	13626,0	490,0	63,0	1070,0	899,0	30,0	8,3	929,0	12,8
0918	13627,0	490,0	63,0	1070,0	919,0	30,0	8,3	949,0	13,2
0919	13602,0	490,0	63,0	1070,0	908,0	25,4	8,3	933,4	13,3
0920	13603,0	490,0	63,0	1070,0	896,0	30,0	-	926,0	13,5
0921	13641,0	490,0	63,0	1070,0	894,0	30,0	-	924,0	14,0
0925	13616,0	490,0	63,0	1070,0	910,0	30,0	-	940,0	12,9
0926	13616,0	490,0	63,0	1070,0	898,0	30,0	-	928,0	13,9
0927	13631,0	490,0	63,0	1070,0	896,0	30,0	-	926,0	14,0
0928	13597,0	490,0	63,0	1070,0	930,0	30,0	-	960,0	13,1
0929	13611,0	490,0	63,0	1070,0	899,0	30,0	-	929,0	13,5
0930	13629,0	490,0	63,0	1070,0	917,0	30,0	-	947,0	14,0
0931	13593,0	490,0	63,0	1070,0	902,0	30,0	-	932,0	14,5
0932	13652,0	490,0	63,0	1070,0	852,0	30,0	-	882,0	16,4
0933	13621,0	490,0	63,0	1070,0	898,0	30,0	-	928,0	14,3
0934	13618,0	490,0	58,0	1070,0	931,0	30,0	-	961,0	15,1
0935	14010,0	490,0	58,0	1070,0	877,0	30,0	-	907,0	14,3
0936	13638,0	490,0	58,0	1070,0	916,0	30,0	-	946,0	13,7
0937	13607,0	490,0	58,0	1070,0	907,0	30,0	-	937,0	11,3
0938	13617,0	490,0	58,0	1070,0	905,0	30,0	-	935,0	13,6
0939	13597,0	490,0	58,0	1070,0	897,0	30,0	-	927,0	14,0
0940	13017,0	490,0	58,0	1070,0	927,0	30,0	-	957,0	14,7
0941	13599,0	490,0	58,0	1070,0	897,0	30,0	-	927,0	13,6
0942	13612,0	490,0	58,0	1070,0	910,0	30,0	-	940,0	14,1
0951	13543,0	490,0	55,0	1070,0	758,0	-	-	758,0	15,6
0952	13581,0	490,0	58,0	1070,0	903,0	30,0	-	933,0	13,4
0953	13574,0	490,0	58,0	1070,0	912,0	30,0	-	942,0	14,3
0960	13506,0	490,0	58,0	1070,0	931,0	30,0	-	961,0	15,0
0962	13491,0	490,0	58,0	1070,0	915,0	30,0	-	945,0	15,5
0963	13509,0	490,0	58,0	1070,0	876,0	30,0	-	906,0	15,0
0964	13502,0	490,0	58,0	1070,0	928,0	30,0	-	958,0	14,8
0965	13503,0	490,0	58,0	1070,0	915,0	30,0	-	945,0	15,3
0966	13535,0	490,0	55,0	1070,0	916,0	30,0	-	946,0	14,3

Estudo da isomerização do lúpulo

0967	13538,0	490,0	58,0	1070,0	901,0	30,0	-	931,0	14,9
0968	13466,0	490,0	58,0	1070,0	951,0	19,2	-	970,2	15,2
0969	13483,0	490,0	58,0	1070,0	866,0	30,0	6,4	896,0	15,6
0970	13479,0	490,0	55,0	1070,0	919,0	30,0	6,4	949,0	14,1
0972	13511,0	490,0	58,0	1070,0	917,0	30,0	6,4	947,0	14,4
0973	13461,0	490,0	58,0	1070,0	905,0	30,0	6,4	935,0	14,3
0974	13691,0	490,0	58,0	1070,0	921,0	30,0	6,4	951,0	15,2
0975	13683,0	490,0	58,0	1070,0	879,0	30,0	6,4	909,0	15,1
0976	13671,0	490,0	58,0	1070,0	926,0	30,0	6,4	956,0	14,5
0977	13664,0	490,0	58,0	1070,0	902,0	30,0	6,4	932,0	16,2
0978	13701,0	490,0	58,0	1070,0	906,0	30,0	6,4	936,0	15,2
0979	13671,0	490,0	58,0	1070,0	894,0	30,0	6,4	924,0	16,1
0980	13657,0	490,0	58,0	1070,0	943,0	30,0	6,4	973,0	14,4
0981	13666,0	490,0	58,0	1070,0	894,0	30,0	6,4	924,0	16,0
0982	13663,0	490,0	55,0	1070,0	897,0	30,0	6,4	927,0	15,5
0983	13684,0	490,0	58,0	1070,0	911,0	30,0	6,4	941,0	16,2
0984	13659,0	490,0	58,0	1070,0	917,0	30,0	6,4	947,0	15,0
0985	13651,0	490,0	58,0	1070,0	898,0	30,0	6,4	928,0	15,7
0986	13653,0	490,0	58,0	1070,0	909,0	30,0	6,4	939,0	15,5
0987	13720,0	490,0	58,0	1070,0	900,0	30,0	6,4	930,0	16,1
0988	13676,0	490,0	58,0	1070,0	893,0	30,0	6,4	923,0	15,0
0989	13652,0	490,0	58,0	1070,0	925,0	30,0	6,4	955,0	16,1
0990	13653,0	490,0	58,0	1070,0	818,0	0,4	6,4	818,4	17,4
0991	13683,0	490,0	58,0	1070,0	866,0	30,0	17,6	896,0	16,7
0992	13668,0	490,0	58,0	1070,0	925,0	30,0	17,6	955,0	15,4
0993	13641,0	490,0	58,0	1070,0	895,0	30,0	17,6	925,0	16,3
0994	13609,0	490,0	58,0	1070,0	916,0	30,0	17,6	946,0	15,7
0995	13627,0	490,0	58,0	1070,0	889,0	30,0	17,6	919,0	15,9
0996	13595,0	490,0	58,0	1070,0	891,0	30,0	17,6	921,0	14,5
0997	13614,0	490,0	58,0	1070,0	884,0	30,0	17,6	914,0	15,9
0998	13597,0	490,0	58,0	1070,0	906,0	30,0	17,6	936,0	16,0
0999	13620,0	490,0	58,0	1070,0	893,0	30,0	17,6	923,0	15,5
1001	13602,0	490,0	58,0	1070,0	870,0	30,0	17,6	900,0	16,8
1002	13639,0	490,0	55,0	1070,0	886,0	30,0	17,6	916,0	15,1
1003	13631,0	490,0	58,0	1070,0	904,0	30,0	17,6	934,0	15,2
1004	13620,0	490,0	58,0	1070,0	889,0	0,0	17,6	889,0	16,0
1005	13610,0	490,0	58,0	1070,0	865,0	0,0	17,6	865,0	16,2
1006	13607,0	490,0	58,0	1070,0	889,0	0,0	17,6	889,0	15,1
1007	13602,0	490,0	58,0	1070,0	899,0	0,0	17,6	899,0	16,2
1008	13610,0	490,0	58,0	1070,0	846,0	0,0	17,6	846,0	16,3
1009	13603,0	490,0	58,0	1070,0	856,0	0,0	17,6	856,0	16,3
1010	13632,0	490,0	58,0	1070,0	891,0	0,0	17,6	891,0	15,1
1011	13750,0	490,0	58,0	1070,0	858,0	0,0	17,6	858,0	16,2
1012	2260,0	490,0	-	1070,0	886,0	0,0	17,6	886,0	15,0
1013	13585,0	490,0	58,0	1070,0	865,0	0,0	17,6	865,0	15,8



Estudo da isomerização do lúpulo

1021	13616,0	490,0	58,0	1070,0	786,0	-	-	786,0	16,7
1022	13613,0	490,0	58,0	1070,0	892,0	30,0	6,4	922,0	13,9
1023	13626,0	490,0	58,0	1070,0	899,0	30,0	6,4	929,0	15,2
1024	13632,0	490,0	58,0	1070,0	952,0	30,0	6,4	982,0	14,0
1026	13593,0	490,0	58,0	1070,0	916,0	30,0	6,4	946,0	14,8
1027	13622,0	490,0	58,0	1070,0	882,0	30,0	6,4	912,0	17,1
1028	13637,0	490,0	58,0	1070,0	921,0	30,0	6,4	951,0	15,2
1029	13605,0	490,0	58,0	1070,0	906,0	30,0	6,4	936,0	15,7
1030	13635,0	490,0	58,0	1070,0	918,0	30,0	6,4	948,0	15,4
1031	13658,0	490,0	58,0	1070,0	896,0	30,0	6,4	926,0	15,9
1032	13604,0	490,0	58,0	1070,0	929,0	30,0	6,4	959,0	15,3
1033	13640,0	490,0	58,0	1070,0	932,0	30,0	6,4	962,0	16,9
1035	13689,0	490,0	47,0	1070,0	898,0	30,0	6,4	928,0	18,2
1036	13634,0	490,0	47,0	1070,0	869,0	30,0	6,4	899,0	14,1
1037	13666,0	490,0	44,0	1070,0	898,0	30,0	6,4	928,0	13,5
1038	13650,0	490,0	47,0	1070,0	910,0	30,0	6,4	940,0	16,9
1039	13652,0	490,0	47,0	1070,0	874,0	30,0	6,4	904,0	14,6
1040	13650,0	490,0	44,0	1070,0	912,0	30,0	6,4	942,0	14,0
1041	13637,0	490,0	47,0	1070,0	891,0	30,0	6,4	921,0	14,3
1042	13619,0	490,0	47,0	1070,0	911,0	30,0	6,4	941,0	13,7
1043	13641,0	490,0	47,0	1070,0	890,0	30,0	6,4	920,0	14,7
1044	13627,0	490,0	47,0	1070,0	904,0	30,0	6,4	934,0	13,7
1045	13611,0	490,0	47,0	1070,0	903,0	30,0	6,4	933,0	15,2
1046	13646,0	490,0	47,0	1070,0	889,0	30,0	6,4	919,0	15,5
1047	13641,0	490,0	47,0	1070,0	895,0	30,0	6,4	925,0	14,3
1048	13670,0	490,0	47,0	1070,0	917,0	30,0	6,4	947,0	14,6
1049	13674,0	490,0	47,0	1070,0	891,0	30,0	6,4	921,0	15,6
1050	13635,0	490,0	47,0	1070,0	913,0	30,0	6,4	943,0	14,1
1051	13680,0	490,0	47,0	1070,0	901,0	30,0	6,4	931,0	15,6
1052	13590,0	493,0	47,0	1070,0	883,0	30,0	6,4	913,0	13,3
1053	13601,0	493,0	47,0	1070,0	894,0	30,0	6,4	924,0	15,0
1054	13587,0	493,0	47,0	1070,0	938,0	30,0	6,4	968,0	14,5
1055	13589,0	493,0	47,0	1070,0	881,0	30,0	6,4	911,0	14,9
1056	13599,0	493,0	47,0	1070,0	915,0	30,0	6,4	945,0	14,0
1057	13555,0	493,0	47,0	1070,0	904,0	30,0	6,4	934,0	14,3
1058	13574,0	493,0	47,0	1070,0	896,0	30,0	6,4	926,0	13,8
1059	13564,0	493,0	47,0	1070,0	899,0	30,0	6,4	929,0	14,8
1060	13612,0	493,0	47,0	1070,0	910,0	30,0	6,4	940,0	14,1
1061	13585,0	493,0	47,0	1070,0	915,0	30,0	6,4	945,0	14,8
1062	13572,0	493,0	47,0	1070,0	905,0	30,0	6,4	935,0	14,5
1063	13518,0	493,0	47,0	1070,0	874,0	7,6	6,4	881,6	15,2
1064	13559,0	493,0	47,0	1070,0	887,0	30,0	17,6	917,0	14,8
1065	13570,0	493,0	47,0	1070,0	905,0	40,1	17,6	945,1	15,3
1066	13527,0	493,0	47,0	1070,0	939,0	40,1	17,6	979,1	14,4
1067	13577,0	493,0	47,0	1070,0	897,0	40,1	17,6	937,1	15,2

Estudo da isomerização do lúpulo

1068	13559,0	493,0	47,0	1070,0	927,0	40,1	17,6	967,1	15,2
1069	13579,0	493,0	47,0	1070,0	920,0	40,1	17,6	960,1	15,3
1070	13528,0	493,0	47,0	1070,0	914,0	40,1	17,6	954,1	13,8
1071	13476,0	493,0	47,0	1070,0	895,0	40,1	17,6	935,1	14,1
1072	13472,0	493,0	47,0	1070,0	937,0	40,1	17,6	977,1	14,4
1073	13474,0	493,0	47,0	1070,0	925,0	40,1	17,6	965,1	15,1
1074	13483,0	493,0	44,0	1070,0	894,0	40,1	17,6	934,1	14,7
1075	13496,0	493,0	47,0	1070,0	900,0	40,1	17,6	940,1	14,1
1076	13496,0	493,0	47,0	1070,0	901,0	40,1	17,6	941,1	13,7
1077	13472,0	493,0	47,0	1070,0	901,0	40,1	17,6	941,1	14,4
1078	13485,0	493,0	47,0	1070,0	939,0	37,4	17,6	976,4	14,6
1079	13493,0	493,0	47,0	1070,0	791,0	40,1	17,6	831,1	15,4
1080	13492,0	493,0	47,0	1070,0	915,0	40,1	17,6	955,1	14,3
1081	13487,0	493,0	47,0	1070,0	905,0	40,1	17,6	945,1	15,0
1082	13488,0	493,0	47,0	1070,0	900,0	40,1	17,6	940,1	15,0
1083	13479,0	493,0	47,0	1070,0	903,0	40,1	17,6	943,1	15,0
1084	13461,0	493,0	47,0	1070,0	938,0	40,1	17,6	978,1	14,2
1085	13465,0	493,0	47,0	1070,0	905,0	4,0	17,6	909,0	15,4
1086	13479,0	493,0	47,0	1070,0	1119,0	60,1	6,4	1179,1	14,0
1087	13452,0	493,0	44,0	1070,0	879,0	-	-	879,0	13,2
1088	13475,0	493,0	47,0	1070,0	908,0	40,1	-	948,1	13,8
1089	13513,0	493,0	47,0	1070,0	956,0	40,1	-	996,1	13,3
1090	13600,0	493,0	47,0	1070,0	940,0	40,1	-	980,1	13,0
1091	13587,0	493,0	47,0	1070,0	926,0	40,1	-	966,1	14,3
1092	13631,0	493,0	47,0	1070,0	949,0	40,1	-	989,1	13,6
1093	13620,0	493,0	47,0	1070,0	913,0	40,1	-	953,1	13,8
1095	13612,0	493,0	44,0	1070,0	951,0	40,1	6,4	991,1	13,4
1096	13622,0	493,0	47,0	1070,0	943,0	40,1	6,4	983,1	13,3
1097	13582,0	493,0	47,0	1070,0	923,0	40,1	6,4	963,1	13,5
1098	13590,0	493,0	47,0	1070,0	959,0	40,1	6,4	999,1	13,0
1099	13635,0	493,0	47,0	1070,0	917,0	40,1	6,4	957,1	12,8
1100	13605,0	493,0	47,0	1070,0	943,0	40,1	6,4	983,1	13,4
1101	13626,0	493,0	44,0	1070,0	947,0	40,1	6,4	987,1	13,4
1102	13598,0	493,0	47,0	1070,0	943,0	40,1	6,4	983,1	13,6
1103	13593,0	493,0	47,0	1070,0	924,0	40,1	6,4	964,1	14,0
1104	13595,0	493,0	47,0	1070,0	909,0	40,1	6,4	949,1	13,8
1106	13595,0	493,0	47,0	1070,0	924,0	40,1	6,4	964,1	13,8
1107	13587,0	493,0	47,0	1070,0	918,0	40,1	6,4	958,1	13,4
1111	13593,0	493,0	47,0	1070,0	958,0	40,1	6,4	998,1	13,6
1112	13597,0	493,0	47,0	1070,0	892,0	40,1	6,4	932,1	13,5
1113	13601,0	493,0	47,0	1070,0	902,0	40,1	6,4	942,1	15,5
1114	13620,0	493,0	53,0	1070,0	940,0	40,1	6,4	980,1	13,9
1115	13600,0	493,0	53,0	1070,0	886,0	0,0	6,4	886,0	15,1
1116	13596,0	493,0	53,0	1070,0	903,0	0,0	6,4	903,0	15,7
1117	13623,0	493,0	50,0	1070,0	882,0	0,0	6,4	882,0	15,4

Estudo da isomerização do lúpulo

1118	13583,0	493,0	53,0	1070,0	929,0	0,0	6,4	929,0	15,5
1119	13618,0	493,0	53,0	1070,0	817,0	17,3	6,4	834,3	16,6
1120	13633,0	493,0	53,0	1070,0	871,0	0,0	6,4	871,0	15,3
1121	13615,0	493,0	53,0	1070,0	964,0	0,0	6,4	964,0	15,5
1122	13600,0	493,0	53,0	1070,0	816,0	0,0	6,4	816,0	17,3
1123	13582,0	493,0	53,0	1070,0	862,0	0,0	12,9	862,0	15,2
1124	13612,0	493,0	53,0	1070,0	899,0	0,0	12,9	899,0	16,3
1129	14090,0	493,0	53,0	1070,0	879,0	2,9	12,9	881,9	14,4
1130	13667,0	493,0	53,0	1070,0	929,0	40,1	12,9	969,1	12,8
1131	13720,0	493,0	53,0	1070,0	914,0	40,1	12,9	954,1	13,8
1133	13676,0	493,0	47,0	1070,0	896,0	40,1	12,9	936,1	15,0
1134	13625,0	493,0	47,0	1070,0	913,0	40,1	12,9	953,1	13,5
1135	13663,0	493,0	47,0	1070,0	933,0	40,1	12,9	973,1	13,1
1136	13660,0	493,0	47,0	1070,0	938,0	40,1	12,9	978,1	14,2
1137	13677,0	493,0	47,0	1070,0	910,0	40,1	12,9	950,1	15,0
1138	13663,0	493,0	47,0	1070,0	952,0	40,1	12,9	992,1	15,0
1139	13644,0	493,0	47,0	1070,0	911,0	40,1	12,9	951,1	15,0
1140	13699,0	493,0	47,0	1070,0	920,0	40,1	12,9	960,1	14,1
1141	13667,0	493,0	47,0	1070,0	869,0	40,1	12,9	909,1	16,0
1142	13678,0	493,0	47,0	1070,0	926,0	40,1	12,9	966,1	16,0
1143	13648,0	493,0	47,0	1070,0	918,0	40,1	12,9	958,1	14,7
1146	13675,0	493,0	47,0	1070,0	907,0	0,0	-	907,0	14,7
1147	13642,0	493,0	47,0	1070,0	885,0	0,0	-	885,0	15,3
1154	13605,0	494,0	50,0	1070,0	1029,0	40,1	12,9	1069,1	9,3
1155	13603,0	494,0	48,0	1070,0	912,0	40,1	12,9	952,1	12,1
1156	13642,0	494,0	45,0	1070,0	1048,0	40,1	12,9	1088,1	12,0
1157	13626,0	494,0	47,0	1070,0	937,0	40,1	12,9	977,1	13,7
1158	13637,0	494,0	44,0	1070,0	959,0	40,1	12,9	999,1	14,6
1159	13616,0	494,0	47,0	1070,0	954,0	40,1	12,9	994,1	14,1
1160	13629,0	494,0	47,0	1070,0	928,0	40,1	12,9	968,1	13,9
1161	13658,0	494,0	47,0	1070,0	927,0	40,1	12,9	967,1	14,9
1162	13634,0	494,0	47,0	1070,0	970,0	40,1	12,9	1010,1	13,4
1163	13626,0	494,0	44,0	1070,0	919,0	40,1	12,9	959,1	14,4
1164	13605,0	494,0	47,0	1070,0	823,0	40,1	12,9	863,1	13,4
1165	13599,0	494,0	47,0	1070,0	942,0	40,1	12,9	982,1	14,4
1166	13613,0	494,0	47,0	1070,0	923,0	40,1	12,9	963,1	13,7
1167	13624,0	494,0	47,0	1070,0	936,0	40,1	12,9	976,1	13,6
1169	13584,0	494,0	47,0	1070,0	920,0	40,1	12,9	960,1	14,7
1170	13597,0	494,0	47,0	1070,0	955,0	40,1	12,9	995,1	12,6
1171	13530,0	494,0	47,0	1070,0	919,0	40,1	12,9	959,1	14,1
1172	13596,0	494,0	47,0	1070,0	918,0	40,1	12,9	958,1	12,8
1173	13639,0	494,0	47,0	1070,0	948,0	40,1	12,9	988,1	13,5
1177	13596,0	493,0	44,0	1070,0	932,0	40,1	12,9	972,1	14,6
1178	9288,0	493,0	47,0	1070,0	928,0	40,1	12,9	968,1	13,3
1179	13445,0	493,0	47,0	1070,0	935,0	40,1	12,9	975,1	13,4

# Estudo da isomerização do lúpulo

<b>1180</b>	13458,0	493,0	47,0	1070,0	940,0	40,1	12,9	980,1	12,9
<b>1181</b>	13430,0	493,0	47,0	1070,0	918,0	40,1	12,9	958,1	13,0
<b>1182</b>	13487,0	493,0	47,0	1070,0	964,0	40,1	12,9	1004,1	12,2
<b>1183</b>	13475,0	493,0	47,0	1070,0	970,0	40,1	12,9	1010,1	11,4
<b>1184</b>	13452,0	493,0	47,0	1070,0	976,0	40,1	12,9	1016,1	11,9
<b>1185</b>	13480,0	493,0	47,0	1070,0	1021,0	40,1	12,9	1061,1	11,7
<b>1186</b>	13445,0	493,0	47,0	1070,0	940,0	40,1	12,9	980,1	13,2
<b>1187</b>	13480,0	493,0	47,0	1070,0	889,0	0,0	12,9	889,0	13,1
<b>1188</b>	13464,0	493,0	47,0	1070,0	922,0	0,0	12,9	922,0	13,4
<b>1189</b>	13447,0	493,0	47,0	1070,0	872,0	0,0	12,9	872,0	14,4
<b>1190</b>	13457,0	493,0	47,0	1070,0	1025,0	0,0	12,9	1025,0	15,7

## A.6 – Propagação da levedura

Na tabela A-8 estão presentes os valores relativos à construção gráfica representada no subcapítulo 3.3.

Tabela A-8 – Valores obtidos no ensaio de propagação de levedura.

	Horas	Contagem (mlh/ml)	Log (Contagem)
<b>T9</b>	6	3	0,477121255
	12	4	0,602059991
	18	4	0,602059991
	24	4	0,602059991
	30	4	0,602059991
	36	6	0,77815125
	42	8	0,903089987
	48	15	1,176091259
	54	22	1,342422681
	60	32	1,505149978
	66	49	1,69019608
	72	74	1,86923172
<b>T11</b>	78	21	1,322219295
	84	28	1,447158031
	90	42	1,62324929
	96	43	1,633468456
	102	67	1,826074803
	108	79	1,897627091
	114	79	1,897627091
	120	86	1,934498451
<b>CC</b>	124	16	1,204119983
	128	19	1,278753601
	144	33	1,51851394
	148	38	1,579783597
	152	36	1,556302501
	168	39	1,591064607
	172	28	1,447158031
	176	33	1,51851394

## Anexo B – Pré-isomerização dos $\alpha$ -ácidos

Neste capítulo serão apresentados os cálculos efetuados bem como os resultados obtidos, que conduziram aos valores apresentados na secção 4 – Pré-isomerização dos  $\alpha$ -ácidos.

### B.1 Custo atual

No processo, atualmente são adicionadas as quantidades de  $\alpha$ -ácidos e extrato de lúpulo presentes na tabela B-1, para o valor de amargo pretendido para cada tipo de cerveja.

O rendimento de isomerização foi calculado segundo a equação a.1.

Tabela B-1 – Quantidades de  $\alpha$ -ácidos e lúpulo adicionadas atualmente.

Tipo	$\alpha$ -ácidos /fabrico (kg)	Lúpulo/ fabrico (kg)	Fabricos/ano	Rendimento de isomerização (%)	$\alpha$ -ácidos isomerizados/fabrico (kg)
<b>Cristal</b>	7	14,06	282	43	3,01
<b>Stout</b>	4,6	9,24	66		1,97
<b>Cheers</b>	18,4	36,95	23		7,91
<b>Carlsberg</b>	4,2	8,43	116		1,81
<b>Abadia</b>	2	4,01	8		0,86
<b>SBSA</b>	3	6,02	51		1,29
<b>Super bock</b>	8,9	17,87	1789		3,83

Os valores de extrato de lúpulo a adicionar foram obtidos através da quantidade de  $\alpha$ -ácidos presentes no lúpulo. Ou seja, para adicionar 8,9kg de  $\alpha$ -ácidos no mosto de Super Bock, como a quantidade de  $\alpha$ -ácidos presentes no lúpulo corresponde a 49,8%, é necessário adicionar 17,9kg de lúpulo. Procede-se de forma similar para os restantes tipos de mosto. Os  $\alpha$ -ácidos isomerizados são calculados usando o rendimento de isomerização médio dos  $\alpha$ -ácidos introduzidos em cada fabrico.

O custo do extrato de lúpulo foi fornecido pela empresa e corresponde a 24 €/kg.

## B.2 Produção de catalisador

Para efeitos de cálculo nesta secção foram considerados os dados apresentados na patente US 8710273 B2 de 29/04/2014 [12]. Relativamente à produção de catalisador a informação fornecida está contida na patente na página 10, Exemplo 4. Os dados relativos à isomerização dos  $\alpha$ -ácidos estão presentes na página 20, Exemplo 17. [12]

De acordo com os dados fornecidos pela patente US 8710273 B2 de 29/04/2014 [12] foram definidas as condições presentes na tabela B-2 para a reação de isomerização offline. Estas são condições ótimas onde é possível obter o máximo de rendimento de isomerização.

Tabela B-2 – Condições de reação de isomerização.

Temperatura	Duração	Rácio $\alpha$ -ácidos/catalisador
90°C	18h	14,3

Como se pode observar pela tabela B-2, a reação de isomerização é realizada num reator fechado durante 18h a 90°C, correspondendo a uma razão em massa entre  $\alpha$ -ácidos e catalisador de 14,3.

Após o cálculo da quantidade necessária de  $\alpha$ -ácidos e catalisador para cada partida (subcapítulo 4.2), foi calculada a quantidade necessária anual de catalisador, presente na tabela B-3.

O cálculo da quantidade de catalisador necessário teve por base a equação b.1:

$$\text{Quantidade de catalisador (kg/Ano)} = \text{Numero de batch ano} \times \text{Quantidade para um batch (kg)} \quad (\text{b.1})$$

Tabela B-3 – Quantidade necessária anual de catalisador.

Tipo	Fabricos/Ano	Fabricos/batch	Batch/Ano	Catalisador/Ano (kg)
Cristal	282	11	26	69,65
Stout	66		6	10,71
Cheers	23		2	14,93
Carlsberg	116		11	17,19
Abadia	8		1	0,56
SBSA	51		5	5,40
Super bock	1789		163	561,82
Total catalisador				680,27
Considerando reciclagem				68

Efetuada o cálculo de catalisador, obteve-se uma necessidade anual de 680,27kg, no entanto, devido ao facto do catalisador ser facilmente reciclável sem perda substancial de massa e rendimento (informação proveniente da patente US 8710273 B2 de 29/04/2014), considerou-se uma taxa de utilização corresponde a 10%, perfazendo um total necessário anual de catalisador de 68kg.

Como já referido anteriormente, devido à imprevisibilidade de produção de fabricos, para efeitos de cálculo, foi considerada a produção anual.

De forma a produzir a quantidade de catalisador necessário presente na tabela B-3, foram calculadas as quantidades dos diferentes reagentes, presentes na tabela B-4.

Tabela B-4 – Quantidade necessária de cada reagente para produção de catalisador.

Reagentes	Quantidade/Ano (kg)	Custo/kg (€) [16]	Custo Total (€)
Nitrato de bário anidro	76,2	70,8	5.394,96 €
Álcool polivinílico	38,5	254,5	9.798,25 €
Nitrato de alumínio nona-hidratado	218,6	67,5	14.755,50 €

As quantidades de cada reagente apresentadas na tabela B-4 foram calculadas tendo como referência os valores indicados para a produção do catalisador na patente US 8710273 B2 de 29/04/2014, assim:

O número de moles (n) de  $Ba(NO_3)_2$  correspondente a 30mmol, então:

$$n = \frac{m(g)}{MM(\frac{g}{mol})} \quad (b.2)$$

$$0,03 = \frac{m}{261,3}$$

$$m = 7,84g Ba(NO_3)_2$$

Na patente US 8710273 B2 de 29/04/2014 [12] verifica-se que o numero de moles Nitrato de Bário anidro e Aluminato de Bário é igual, assim é possível calcular a massa de catalisador formado,

$$m_{BaAl_2O_4} = \frac{m_{Ba(NO_3)_2} \times MM_{BaAl_2O_4}}{MM_{Ba(NO_3)_2}} \quad (b.3)$$

$$m_{BaAl_2O_4} = \frac{7,84 \times 255,29}{261,3}$$

$$m_{BaAl_2O_4} = 7,6587 g$$



Então, para produzir 7,66g de catalisador são necessárias 7,85g de Nitrato de bário. O cálculo da quantidade de Nitrato de alumínio necessário foi realizado de forma similar ao cálculo da quantidade de Nitrato de bário necessária:

O número de moles (n) de  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  correspondente a 60mmol, então:

$$n = \frac{m(g)}{MM(\frac{g}{mol})} \quad (b.4)$$

$$0,06 = \frac{m}{375,2}$$

$$m = 22,5 \text{ g } Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$$

A massa de álcool polivinílico necessária para a produção da mesma quantidade de catalisador foi obtida diretamente dos dados fornecidos pela patente US 8710273 B2 de 29/04/2014 [12], sendo de 3,96g.

Para obter a quantidade necessária de Nitrato de bário anidro face à necessidade anual do processo foi realizado o seguinte cálculo:

$$m_{Ba(NO_3)_2} \text{ anual} = \frac{m_{Ba(NO_3)_2 \text{ usada na patente}} \times m_{\text{catalisador anual}}}{m_{\text{catalisador usada na patente}}} \quad (b.5)$$

$$m_{Ba(NO_3)_2} \text{ anual} = \frac{0,0784 \times 74,4}{0,076587}$$

$$m_{Ba(NO_3)_2} \text{ anual} = 76,2 \text{ kg}$$

O cálculo para obter a quantidade necessária de Nitrato de Alumínio face à necessidade anual do processo foi realizado de forma similar:

$$m_{Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O} \text{ anual} = \frac{m_{Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O \text{ usada na patente}} \times m_{\text{catalisador anual}}}{m_{\text{catalisador usada na patente}}} \quad (b.6)$$

$$m_{Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O} \text{ anual} = \frac{0,225 \times 74,4}{0,076587}$$

$$m_{Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O} \text{ anual} = 218,6 \text{ kg}$$

O cálculo para obter a quantidade necessária de Nitrato de Alumínio face à necessidade anual do processo foi realizado de forma similar:

$$m_{C_2H_4O} \text{ anual} = \frac{m_{C_2H_4O \text{ usada na patente}} \times m_{\text{catalisador anual}}}{m_{\text{catalisador usada na patente}}} \quad (b.7)$$

$$m_{C_2H_4O} \text{ anual} = \frac{0,0396 \times 74,4}{0,076587}$$

$$m_{C_2H_4O} \text{ anual} = 38,5 \text{ kg}$$

### B.3 Dimensionamento de equipamentos

O correto dimensionamento dos equipamentos utilizados em todo o processo é imprescindível. Estes foram dimensionados tendo em conta uma margem de 25%. Os valores obtidos encontram-se na tabela B-5.

Tabela B-5 - Dimensionamento de equipamentos.

Equipamentos	Volume (m <sup>3</sup> )	Custo equipamento	Potência (kW) [14]
Reator	0,12	4.000,00 € [17]	1
Tanque de armazenamento dos $\alpha$ -ácidos	0,12	2.500,00 € [17]	-
Centrifuga	0,12	5.000,00 € [17]	5,5
Tanque de lavagem do catalisador	0,05	1.000,00 € [17]	0,5
Instrumentação e controle	-	4.000,00 € [18]	-

De acordo com a tabela B-5 o reator, centrifuga e tanque de armazenamento de  $\alpha$ -ácidos necessitam de um volume correspondente a 0,12 m<sup>3</sup>.

Este valor foi obtido a partir da massa de extrato de lúpulo necessária para um *batch*, considerou-se para o valor da densidade do lúpulo  $1000 \frac{kg}{m^3}$  assim: [11]

$$V = \frac{\text{Massa de lúpulo (kg)}}{\text{Densidade de lúpulo } (\frac{kg}{m^3})} \quad (b.8)$$

$$V = \frac{99,45}{1000}$$

$$V = 0,099 \text{ m}^3$$

$$V = 0,099 * 1,25$$

$$V = 0,12 \text{ m}^3$$

O volume do tanque de lavagem foi calculado segundo a quantidade de água necessária, ou seja, 400% de água em relação à quantidade de catalisador. Uma vez que são utilizadas 6,2 kg de catalisador de cada vez, considerou-se uma quantidade de 12,4 kg de catalisador como referencia para o dimensionamento do tanque. Este valor inclui já uma margem de segurança, onde está implícita a hipótese de não ser utilizado todo o catalisador presente no tanque anteriormente, pois como já foi referido, devido à imprevisibilidade de fabricos de cerveja considerou-se a quantidade de catalisador necessária à produção de Super Bock como referencia para a produção mensal. Assim:

$$V = \frac{\text{Quantidade de catalisador (kg)} \times 400\%}{\text{Densidade da água } (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} \quad (\text{b.9})$$

$$V = \frac{12,4 \times 4}{1000}$$

$$V = 0,05 \text{ m}^3$$

O reator utilizado no processo é aquecido utilizando o vapor proveniente da ebulição como fonte de energia. Este vapor está disponível a 1 bar e a quantidade que alimenta o reator foi calculada com base nos dados presentes na tabela B-6.

Tabela B-6 – Dados relativos ao cálculo da quantidade de vapor alimentada ao reator.

Massa de lúpulo ( $\frac{\text{kg}}{\text{batch}}$ )	99,45
Capacidade calorífica do lúpulo ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$ ) [19]	2
Temperatura de entrada do lúpulo (°C)	55
Temperatura de saída do lúpulo (°C)	90
Calor latente de vaporização 100 °C ( $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ )	2256,9

Assim,

$$m_{\text{lúpulo}} \times Cp \times T_{In} + m_{\text{vapor}} \times \lambda = m_{\text{lúpulo}} \times Cp \times T_{Out} \quad (\text{b.10})$$

$$99,45 \times 2 \times 55 + m_{\text{vapor}} \times 2256,9 = 99,45 \times 2 \times 90$$

$$m_{\text{vapor}} = 3,1 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$$

Uma vez que, após o início da reação ocorre uma transferência de energia térmica entre o reator e o meio ambiente, que está a uma temperatura inferior, torna-se necessário calcular as perdas de calor do reator e por consequente a quantidade de vapor a alimentar de modo a compensar estas perdas. Devido à falta de informação sobre as características térmicas da reação de isomerização presente no reator, considerou-se que as perdas correspondem a 5% da energia térmica total, assim:

$$\text{Calor } (\frac{\text{kJ}}{\text{batch}}) = \text{Massa de lúpulo } (\frac{\text{kg}}{\text{batch}}) \times Cp \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \right) \times \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{b.11})$$

$$Q = 99,45 \times 2 \times 90$$

$$Q = 17\,901 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{batch}} \right)$$

Considerando as perdas 5%, então:

$$\text{Perdas } \left( \frac{\text{kJ}}{\text{batch}} \right) = 17\,901 \times 0,05$$

$$Perdas = 895,05 \left( \frac{kJ}{batch} \right)$$

$$Massa \text{ de vapor } \left( \frac{kg}{batch} \right) = \frac{Perdas \left( \frac{kJ}{batch} \right)}{\lambda \left( \frac{kJ}{kg} \right)}$$

$$Massa \text{ de vapor} = \frac{895,05}{2256,9}$$

$$Massa \text{ de vapor} = 0,40 \frac{kg}{batch}$$

$$Massa \text{ de vapor} = \frac{0,40}{18 h}$$

$$Massa \text{ de vapor} = 0,02 \frac{kg}{h}$$

Para o cálculo da área de transferência de calor da camisa de aquecimento do reator considerou-se que o valor do Coeficiente de transferência de calor (U) corresponde a  $375 \frac{W}{m^2 \times K}$ , então [20]:

$$Q = 17\,901 \frac{kJ}{batch} = \frac{17\,901}{18 \times 3600} = 0,28 \text{ kW}$$

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (b.12)$$

$$0,28 \times 1000 = 375 \times A \times (100 - 90)$$

$$A = 0,08 \text{ m}^2$$

Relativamente ao custo energético dos equipamentos considerou-se uma taxa de 0,2987 €/kWh, obtida através das tarifas atuais da EDP para empresas, assim: [21]

#### Reator:

$$\text{Horas de funcionamento por mês} = 18 \text{ h/batch} \times 18 \text{ batch/mês} = 324 \text{ h/mês}$$

$$\text{Consumo} = 324 \text{ h/mês} \times 1 \text{ kW} = 324 \text{ kWh/mês}$$

#### Centrifuga

$$\text{Horas de funcionamento por mês} = 2 \text{ h/batch} \times 18 \text{ batch/mês} = 36 \text{ h/mês}$$

$$\text{Consumo} = 36 \text{ h/mês} \times 5,5 \text{ kW} = 198 \text{ kWh/mês}$$

#### Tanque de lavagem do catalisador

$$\text{Horas de funcionamento por mês} = 1,5 \text{ h/batch} \times 18 \text{ batch/mês} = 27 \text{ h/mês}$$

$$\text{Consumo} = 27 \text{ h/mês} \times 0,5 \text{ kW} = 13,5 \text{ kWh/mês}$$

#### Reator + Centrifuga + Tanque

Consumo mensal =  $324 + 189 + 13,5 = 526,5$  kWh/mês

Consumo anual =  $526,5 * 12 = 6318$  kWh/ano

Custo energético anual =  $6318 * 0,2987 = 1887,2$  €/ano

#### B.4 Procedimento de produção de catalisador

O catalisador será produzido nas instalações laboratoriais da empresa segundo o seguinte método: [12]

- A uma mistura de Nitrato de Bário Anidro com Nitrato de alumínio nona-hidratado adicionar de Álcool polivinílico;
- Agitar e aquecer a mistura até 313K;
- Ajustar o pH a 9,5 com uma solução aquosa de 25 % de amónia;
- Agitar a mistura resultante durante 1h e deixar em repouso 12h;
- Lavar o precipitado com água desionizada;
- Secar durante 12h a 393K;
- Calcinar o pó resultante durante 8h a 973K;
- No final esmagar e moer o material utilizando um almofariz e pilão.